

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



Rec'd PCT/PTO 30 JUN 2004



(43) 国際公開日
2003年8月14日 (14.08.2003)

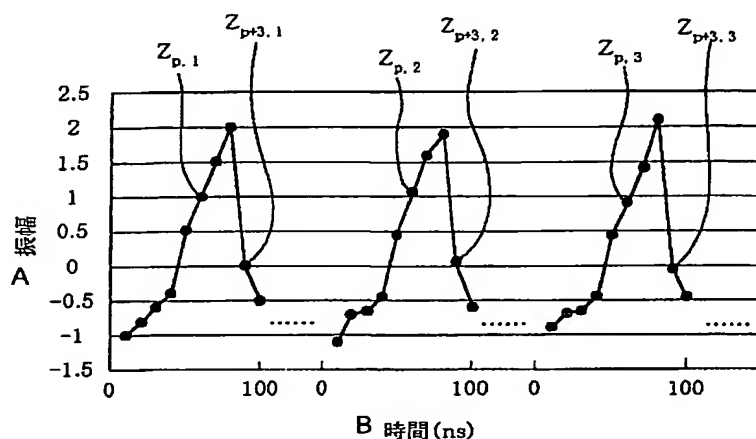
PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/067578 A1

- (51) 国際特許分類: G11B 7/0045, 7/125 (OHKUBO, Shuichi) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP03/01193
- (22) 国際出願日: 2003年2月5日 (05.02.2003) (74) 代理人: 稲垣 清, 外 (INAGAKI, Kiyoshi et al.); 〒101-0042 東京都千代田区神田東松山下町37林道ビル5階 扶桑特許事務所内 Tokyo (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): CN, KR, SG, US.
- (30) 優先権データ:
特願2002-30391 2002年2月7日 (07.02.2002) JP
特願2002-306990 2002年10月22日 (22.10.2002) JP
(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR).
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電気株式会社 (NEC CORPORATION) [JP/JP]; 〒108-8001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP). 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大久保 修一
- 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(54) Title: OPTICAL INFORMATION RECORDING CONDITION ADJUSTMENT METHOD, RECORDING/REPRODUCING METHOD AND APPARATUS

(54) 発明の名称: 光学情報の記録条件調整方法、記録再生方法及び装置



A...AMPLITUDE
B...TIME (ns)

(57) Abstract: Laser light of a recording pulse waveform generated in accordance with a recording signal synchronized with a clock cycle is applied to an optical recording medium so as to form a recording mark group on the optical recording medium. The recording mark group is read out to obtain a reproduction waveform. The reproduction waveform is sampled at a cycle shorter than the clock cycle. The linearity of the reproduction waveform is evaluated to adjust the recording condition and optimize the recording strategy. For this, the sample value of the reproduction waveform sampled is linearly interpolated and the sample values of the reproduction waveform are averaged.

[続葉有]



(57) 要約:

クロック周期に同期した記録信号を基礎として生成された記録パルス波形のレーザ光を光記録媒体に照射して、該光記録媒体に記録マーク群を形成し、該記録マーク群を読み出して再生波形を得て、該再生波形をクロック周期より短い周期でサンプリングして該再生波形の線形性を評価することによって記録条件を調整して、記録ストラテジを最適化する。

その際、サンプリングされた再生波形のサンプル値を線形補間したり、再生波形のサンプル値を平均化する。

明細書

光学情報の記録条件調整方法、記録再生方法及び装置

5

技術分野

本発明は、光記録媒体に対してレーザ光の照射により情報の記録及び再生を行う光学情報の記録条件調整方法、記録再生方法および記録再生装置に関するものである。

10

背景技術

光記録媒体として、光磁気ディスクや相変化光ディスク等の書き換え型光ディスクがある。これらの光記録媒体に記録データを記録する際の代表的な記録方式として、記録マークの位置に情報を持たせるマークポジション記録と、記録マークの前端及び後端それぞれに情報を持たせるマークエッジ記録とがある。

15

マークエッジ記録は、高密度化に適した記録方式であるが、再生時に記録データを忠実に再生できるように、記録マークの長さを高精度に制御しなければならない。光磁気ディスクや相変化光ディスクにおける記録マークの長さは、レーザ光照射に起因した記録膜の温度上昇により決定される。また、光ディスクにレーザ光を照射した際の温度上昇は、ディスクの構成や線速により大きく変化する。

20

光記録媒体に記録データを記録する際に、記録データ波形を複数の短パルスに分割して記録を行う記録技術、いわゆる記録ストラテジ技術が一般に用いられる。温度上昇量を制御してマーク長を高精度に制御するには、この複数の短パルスに分割された記録パルス波形（レーザ変調パルス波形）における各パル

25

5 スの強度や幅を線速やディスク構成に応じて最適化する必要がある。パルス幅やパルス間隔などの記録ストラテジを最適化する方法の一例が、「信学技報MR93-55、CPM93-107、13-18頁、1993年」に記載されている。この方法では、基準マークから被測定マークの前端及び後端までの長さ（時間）が計測され、記録パルス波形の照射開始位置やパルス幅が決定される。

10 しかしながら、高密度化がより進み、ディスク上に記録される記録マーク長が短くなっていくにつれ、再生波形の信号振幅が低下し、記録マーク測定のためのスライサのスライスレベルよりも低くなってしまいう事態も発生する。その結果、被測定マークの前端及び後端の位置を精度良く測定することができなくなるので、上述のような従来技術では、記録ストラテジの最適化を行うことが困難となってしまう。

15 高記録密度条件下において記録ストラテジを最適化する手法として、特開2001-126260号公報に、記録再生系が線形であるとして、再生波形からパルス応答を導出して記録ストラテジを最適化する手法が記載されている。この従来技術によれば、ある記録パルス波形を用いたときの記録再生波形から、下記式（1）で表される ε' を最小とする h_j が、パルス応答の時系列データとして求められる。

$$\varepsilon' = \sum_i (y_i - \sum_j a_{i-j} \times h_j)^2 \quad \text{————— (1)}$$

20 ここで、 a_j は通常1、0で表現される記録データ、 y_j は再生波形を記録データのクロック周波数でサンプリングして得られる時系列データである。 j の範囲は、時系列データ h_j が零でない有限の大きさを取る範囲で定まり、また、 k は、再生波形の時系列データの全数で定まる。次に、記録パルス波形を変化させて、同様に、各々の記録パルス波形における h_j および ε' の最小値を導出

し、 ε' の最小値のうちで最も小さい値を与える記録パルス波形が最適な記録パルス波形として定めることができる。

線型な記録再生系では、1 ビットのデータを記録再生した際の記録再生系の出力（一般にパルス応答あるいはインパルス応答と呼ばれる）を h_j とすると、
5 ある時刻での再生波形出力はノイズが全く無い場合には、下記式（2）で表現される。

$$\sum (a_{l-j} \times h_j) \text{ ————— (2)}$$

パルス応答は記録密度及びビーム径あるいは記録再生条件（チルトやデフォーカス等）毎に異なる値を取る。上述の ε' は、再生波形の非線形成分を評価した
10 指標であり、 ε' の値が小さいほど、再生波形の線型性が高いこととなる。

しかしながら、上記従来技術による手法では、記録密度が非常に高く再生波形の信号振幅が大きく低下した場合には、ノイズの影響が無視できなくなるため、上述のパルス応答の時系列データ h_j や ε' の最小値の導出精度が低くなり、記録ストラテジの最適化が難しくなるという問題がある。

15 また、上記従来技術による手法では、再生波形からクロック周波数が抽出され、このクロック周波数を利用して、再生波形のサンプリングが行われている。再生波形からクロック周波数を抽出するには PLL 回路が必要となるため、回路構成が煩雑となってしまう、また、PLL の回路性能にも依存するが、例えば 1000bit 程度のデータ長のデータが必要となり、処理に時間がかかってしまう
20 という問題がある。

従来技術では主に、記録パルス幅の最適化について触れられているが、レーザパワーの調整を行う場合、記録パワーが適切でない場合には、PLL 回路が正常に動作しない場合があり、パルス応答を導出することができないという問題が生じる。また、従来技術では線型性からのずれの絶対値（前記 ε' ）のみを用

いているが、記録パワーを調整することを考えると、記録パワーの変化とともに、信号の振幅も変化するので、何らかの形で線型性からのずれを規格化する必要が生じる。

5 発明の開示

上記従来技術の問題に鑑み、本発明の目的は、記録密度が高い場合であっても、精度良く、かつ、短時間に記録条件（記録ストラテジ及びレーザパワー）が最適化される記録条件の調整方法、光学情報の記録再生方法および記録再生装置を提供することにある。

10 本発明は、クロック周期に同期した記録信号を基礎として生成された記録パルス波形のレーザ光を光記録媒体に照射して該光記録媒体に記録マーク群を形成するステップと、該記録マーク群を読み出すことによって再生波形を得るステップと、該再生波形をクロック周期より短い周期でサンプリングし、再生波形の線型性を評価して記録条件を調整するステップとを有する調整方法を提供する。本発明の好ましい例では、再生波形のサンプリング値を線型補間することによってクロック周期毎の再生波形の時系列データを得る。

15 本発明は、前記光記録媒体に記録するクロック周期毎の時系列データを〔 a_0 、 a_1 、 \dots 、 a_k 、 \dots 、 a_{n-1} 、 a_n 〕、前記再生波形のクロック周期毎の時系列データを〔 y_0 、 y_1 、 \dots 、 y_k 、 \dots 、 y_{n-1} 、 y_n 〕（ n は0以上の整数、 k は $0 \leq k \leq n$ を満たす整数）、ある記録再生条件に対する記録再生系のパルス応答を〔 h_0 、 h_1 、 \dots 、 h_m 〕（ m は $0 \leq m \leq n$ を満たす整数）として、
20 前記線型性の指標として下記式（3）

$$\varepsilon = \sum_i (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2 \quad \text{————— (3)}$$

（ i は $0 \leq i \leq m$ を満たす整数）を求めて記録条件を調整する調整条件を提供

する。

ここで、 h_i は記録パルス波形により変化する値である。このため、この h_i を調整（記録条件を調整）することで ε の値を調整できる。なお、上記 ε の値は、小さくなるよう調整することで好適な記録条件を得ることができる。

- 5 また本発明は、別の態様では、クロック周期に同期した記録信号を基礎として生成された記録パルス波形のレーザ光を光記録媒体に照射して該光記録媒体に記録マーク群を形成し、該記録マーク群を読み出すことによって再生波形を得、該再生波形の線型性を評価して記録条件を調整する光学情報の記録条件調整方法において、前記光記録媒体に記録するクロック周期毎の時系列データを
- 10 $[a_0, a_1, \dots, a_k, \dots, a_{n-1}, a_n]$ 、前記再生波形のクロック周期毎の時系列データを $[y_0, y_1, \dots, y_k, \dots, y_{n-1}, y_n]$ (n は 0 以上の整数、 k は $0 \leq k \leq n$ を満たす整数)、ある記録再生条件に対する記録再生系のパルス応答を $[h_0, h_1, \dots, h_m]$ (m は $0 \leq m \leq n$ を満たす整数) として、前記線型性の指標として下記式 (4)

$$15 \quad R1 = (n+1) \times \frac{\sum_i h_i^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2} \quad \text{--- (4)}$$

(i は $0 \leq i \leq m$ を満たす整数) を求めて記録条件を調整する調整条件を提供する。

- ここで、 h_i は記録パルス波形により変化する値である。このため、この h_i を調整（記録条件を調整）することで $R1$ の値を調整できる。なお、上記 $R1$ の値
- 20 を大きくなるよう調整することで、好適な記録条件を得ることができる。

上記の構成を採用する場合、情報の記録再生に用いるレーザビームのビーム直径を w 、光学情報記録媒体に記録される最短のマーク長を 1 とした場合、 $10 \times \log R1 > 20 - 20(1/w)$ dB を満足するように設定することでビットエラーレート

(b. e. r) を所定値以下に抑えることが可能である。即ち、本発明では、R1 を調整することでビットエラーレートの調整も可能である。

また、本発明は、別の態様では、クロック周期に同期した記録信号を基礎として生成された記録パルス波形のレーザ光を光記録媒体に照射して該光記録媒体に記録マーク群を形成し、該記録マーク群を読み出すことによって再生波形を得、該再生波形の線型性を評価して記録条件を調整する光学情報の記録条件調整方法 において、前記光記録媒体に記録するクロック周期毎の時系列データを $[a_0, a_1, \dots, a_k, \dots, a_{n-1}, a_n]$ 、前記再生波形のクロック周期毎の時系列データを $[y_0, y_1, \dots, y_k, \dots, y_{n-1}, y_n]$ (n は 0 以上の整数、 k は $0 \leq k \leq n$ を満たす整数)、ある記録再生条件に対する記録再生系のパルス応答を $[h_0, h_1, \dots, h_m]$ (m は $0 \leq m \leq n$ を満たす整数) として、前記線型性の指標として下記式 (5)

$$R2 = \frac{\sum_k y_k^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2} \quad (5)$$

(i は $0 \leq i \leq m$ を満たす整数) を求めて記録条件を調整する調整条件を提供する。

ここで、 h_i は記録パルス波形により変化する値である。このため、この h_i を調整 (記録条件を調整) することで R2 の値を調整できる。なお、上記 R2 の値は、大きくなるよう調整することで好適な記録条件を得ることができる。さらに上記の場合、情報の記録再生に用いるレーザビームのビーム直径直径を w 、光学情報記録媒体に記録される最短のマーク長を 1 とした場合、 $10 \times \log R2 > 21 - 20(1/w)$ dB を満足するよう、R2 を調整することでビットエラーレートを所定値以下に抑えることが可能である。即ち、本発明では R2 を調整することでビットエラーレートの調整も可能である。

また、本発明は、上述の記録条件調整方法の工程において、前記光記録媒体に同一の記録パルス波形で複数個の記録マーク群を記録し、これを再生して複数個の再生波形をサンプリングし、該サンプリング値を平均化する工程、あるいは、前記光記録媒体にある記録パルス波形で記録マーク群を記録し、これを複数回再生することで複数個の再生波形をサンプリングし、該サンプリング値を平均化する工程を有することができる。この場合、より正確な調整が可能となる。

さらに、本発明の記録条件調整方法では、特に媒体が相変化型光記録媒体の場合、再生波形を得る際、2回以上オーバーライトしたのち再生してもよい。この場合、記録条件をより正確に調整できる。

本発明に係る記録再生装置は、上述の記録条件調整方法を採用する。

即ち、本発明は、光記録媒体にレーザ光を照射しその反射光を受光する光ヘッドと、前記レーザの出力光強度を変化させるレーザ駆動部と、記録信号を記録パルス波形に変換しこれを前記レーザ駆動部に伝達する機能と、光記録媒体に記録された記録マークの再生波形をクロック周期よりも速い周期でサンプリングする機能と、サンプリングした値を補間する機能と、再生波形から定められるパルス応答および前記記録信号の畳み込みで求められる波形と前記再生波形をサンプリングし補間して得られた波形との差を評価して記録パルス波形を調整する機能と、を備えた制御部と、を有する光学情報の記録再生装置を提供する。本発明の記録再生装置では、記録パルス波形調整に際して、前記eあるいは前記R 1あるいは前記R 2を評価して記録パルス波形を調整することが出来る。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態に係る光学情報記録装置のブロック図である。

図 2 は、図 1 の光学情報記録装置の記録に使用される記録データと記録パルスの波形を示すタイミングチャートである。

図 3 は、図 1 の光学情報記録装置の CPU に取り込まれる繰り返し再生波形を示すタイミングチャートである。

5 図 4 は、図 3 の繰り返し再生波形を平均化した波形を示すタイミングチャートである。

図 5 は、図 1 の光学情報記録装置の記録に使用される光ディスクの 1 例の断面図である。

10 図 6 は、本発明の第 1 実施例における記録ストラテジの最適化を説明するための記録データと記録パルスの波形を示すタイミングチャートである。

図 7 は、図 6 の記録パルス波形の先頭パルス幅—指標 I (I_2) の関係を示すグラフ。

図 8 は、図 6 の記録パルス波形の繰り返し回数—指標 I (I_2) の関係を示すグラフ。

15 図 9 は、図 6 の記録パルス波形の先頭パルス幅—指標 I (I_2) の関係及びパルス幅— ϵ の関係を示すグラフ。

図 10 は、図 6 の記録パルス波形の先頭パルス幅—ビット誤り率の関係を示すグラフ。

20 図 11 は、第 2 実施例における記録パルスのクーリングパルス幅—指標 I (I_2) の関係及びパルス幅—ビット誤り率の関係を示すグラフ。

図 12 は、レーザパワー—指標 I (I_1 , I_2 , I_3) の関係及びレーザパワー—ビット誤り率の関係を示すグラフ。

図 13 は、オーバーライト回数を変化させた際のレーザパワーと指標 I_1 の関係を示すグラフ。

25 図 14 は、レーザパワー—指標 I (I_1 , I_2 , I_3) の関係、及び、レーザ

パワービット誤り率の関係を示すグラフ。

図 1 5 は、パルス応答長さと指標 (I 1 , I 2 , I 3) の関係を示すグラフ。

図 1 6 は、所定のビット誤り率を達成するための指標 I 1 とディスク上に記録される最短マークの関係を示すグラフ。

5 図 1 7 は、所定のビット誤り率を達成するための指標 I 2 とディスク上に記録される最短マークの関係を示すグラフ。

発明を実施するための最良の形態

10 次に、図面を参照し、本発明の実施の形態に基づいて本発明を更に詳細に説明する。

図 1 は、本発明の一実施形態に係る光学情報記録装置を示す。本実施形態例の光学情報記録装置は、再生波形からパルス応答を導出し、パルス応答から得られる情報に基づいて記録再生条件を調整する方法を採用する。パルス応答を導出するためには、クロック周期での再生波形の時系列データが必要である。

15 クロック周期は、通常、PLL (位相同期ループ) を用いて再生波形から抽出される。この操作には、一定長さのデータと回路処理のための時間が必要であり、また、PLL 回路が必要である。本実施形態例では、PLL によるクロック周期の抽出は行われず、クロック周期以下の (クロック周期より短い) 周期で再生波形のサンプリングが行われる。このサンプリングによって得られた再生波形の時系列データが CPU に取り込まれ、この時系列データから補間法にてクロック周期での再生波形の時系列データが求められる。このようにして求められたクロック周期での再生波形の時系列データを用いて、パルス応答が導出される。これによって、PLL 回路を不要とし回路構成を単純化し、且つ、パルス応答の導出時間を短縮する。また、レーザパワーが最適パワーからずれて、

20 PLL 回路が正常に動作しない場合であっても、クロック周期毎の再生波形デ

25

ータを求めることができる。このため、再生波形の線型性を評価することが可能である。

なお、何らかの外乱で光ディスクの回転数が変動し、記録を行った時点と再生を行った時点とで回転数が異なる事態が生じることが考えられる。この場合、記録時と再生時で基準クロック時間が異なってしまうため、再生時の波形データに対して、記録時のクロック時間に基づいて線型補間を行っても正しいデータが得られなくなってしまう。しかしながら、この場合であっても、複数のクロック時間を想定して、それぞれ想定したクロック時間毎に波形データを補間して前記の e 、 $R1$ 、 $R2$ を求め、最小の e あるいは最大の $R1$ 、 $R2$ を調べることで、再生時の正しいクロック時間を算出するとともに波形の線型性の評価を行うことができる。

一方、記録密度の高密度化が進み、ディスク上に記録される記録マーク長が短くなるにつれて、再生波形の信号振幅が低下し、ノイズの影響が大きくなる。このノイズは、記録再生系の本来持っているパルス応答とは異なるパルス応答を与えるように働く、もしくは、パルス応答の算出を不確定なものにする。したがって、パルス応答と記録データとの畳み込み演算で求められる演算結果と再生波形との差もまた、ノイズの存在しない場合の差と異なるもの、あるいは、不確定なものとなり、選択される記録パルス波形を最適な記録ストラテジを持つ波形と異なるものとする。本発明者は、以下に詳述するように、同一の記録パルス波形を光記録媒体上に複数回繰り返し記録して記録マークを形成し、この記録マークから再生した複数の再生波形の平均化操作を行うことにより、ランダム性のノイズの影響が低減され、最適な記録ストラテジを持つ記録パルス波形を導出できることを見出した。

図1に示すように、本実施形態の光学情報の記録再生装置1は、光ディスク2にレーザ光を照射する光ヘッド3と、レーザ光の強度を変化させる駆動部と

してのLDドライバ4と、制御部としてのCPU5とを備えている。CPU5は、LDドライバ4および光ヘッド3を介して記録データを種々の記録パルス波形に変換して光ディスク上に記録マークとして記録する機能と、光ディスク上の記録マーク情報を光ヘッドを介して再生して再生波形を得る機能と、各記録パルス波形において再生された再生波形からパルス応答を導出する機能と、このパルス応答及び記録データの畳み込みで求められる波形と再生波形との差が最も小さくなるように記録パルス波形を調整して最適な記録パルス波形を求める機能と、再生波形を平均化する機能とを有する。これらの機能は、CPU5に記憶されたソフトウェアによって実現されている。

記録ストラテジ決定のために使用される記録データは、例えばM系列等の一般的なランダムデータを適当に変調することによって得られる。記録データの長さとしては200ビット程度あれば、パルス応答を精度良く導出するのに十分である。

再生波形の平均化操作は、ある1本のトラックに記録されている記録マークを複数回再生し、得られた再生波形を平均化することによってなされてもよい。しかし、データの取り込み時間を短縮するためには、同一の記録パルス波形の複数回の繰り返しパターンを同一トラック内に記録し、これを再生して平均化操作を行う方がより望ましい。記録領域が非常に長くなると、単一トラック周内においても信号振幅が変動してしまい、正確な平均化操作を行うことが困難となる場合もある。しかしながら、本実施の形態で用いられる記録データはただか200ビット程度であるので、1ビット長を $0.5\mu\text{m}$ として、例えば10回の繰り返しパターンが使用されても、その占める領域はトラック1周のうちのごくわずかの領域であるにすぎず、信号振幅が変動することはない。

図2に、本実施の形態に用いた記録データと記録パルス波形の一部をクロック信号とともに示す。Tは、クロック周期である。最適な記録ストラテジを有

する記録パルス波形は、以下のようにして導出される。まず、光ヘッドからのレーザ光によって記録パルス波形が光ディスクに記録されて記録マークが形成され、この記録マーク情報が読み出されて再生波形となる。再生された再生波形がクロック周期以下の周期でサンプリングされ、CPUに取り込まれる。

5 図3は、図2の記録パルス波形が3回繰り返して同一トラックに記録された後に再生された再生波形の一部を示している。図3において、図示の簡単のために、繰り返しのそれぞれにおいて、図2の記録データのうちの最初の5Tの長さの部分の記録データに対応する再生波形のパルスのみが示されている。 $z_{p,1} \cdots z_{p+3,1}$ 、 $z_{p,2} \cdots z_{p+3,2}$ 、 $z_{p,3} \cdots z_{p+3,3}$ は、繰り返しのそれぞれ
10 における再生波形の時系列データである。ここで、 z の最初の添え字は、繰り返しのそれぞれにおけるサンプリングの順番を表し、2番目の添え字は繰り返しの回数を表している。次に、同一の p 値における3つの再生波形データ $\cdots z_{p,1} \cdots z_{p+3,1} \cdots$ 、 $\cdots z_{p,2} \cdots z_{p+3,2} \cdots$ 、 $\cdots z_{p,3} \cdots z_{p+3,3} \cdots$ を平均した平均再生波形の時系列データ $\cdots z_p \cdots z_{p+3} \cdots$ が求められる。

15 図4は、上記のようにして求められた平均再生波形の時系列データ $\cdots z_p \cdots$ を白抜きの丸印にてプロットしたものである。次に、クロック信号の“0”と“1”との遷移点における時系列データ y_k が、その前後の時系列データ z_p を補間することによって得られる。図4の下向きの矢印で示される点が、 y_k を与える補間点である。このような補間を容易に行うためには、例えば、記録データの先頭に基準パルスを付加し、再生の際にこの基準パルスを記録した基準
20 マークからの再生信号を起点として時系列データを取り込めばよい。 k は、 $0 \leq k \leq n$ を満たす整数である。 n は、0以上の整数である。時系列データ y_k の全数は、 $(n+1)$ 個である。いま、 ε は、前記式(3)で定義されるものとする。

$$\varepsilon = \sum_i (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2 \quad \text{—————} \quad (3)$$

但し、 i は、 $0 \leq i \leq k$ を満たす整数である。

ここで、 a_{k-i} は記録データである。例えば最小二乗法によって、あるいは、偏微分方程式 $\partial \varepsilon / \partial h_i = 0$ を解くことによって、 ε が最小値を取る時系列データ h_i を求めると、 k の最大値、即ち、時系列データ y_k の個数にもよるが、得られた時系列データ h_i は、高い精度で記録再生系のパルス応答 h の時系列データを与える。パルス応答 h の時系列データ h_i が零でない有限の大きさを取る範囲は、記録再生系の回路特性、光ヘッド特性、ならびに記録密度などに依存するが、通常、 $i = 2 \sim 20$ 程度であり、それ以上の i の値に対しては、事実上、 $h_i = 0$ としてよい。したがって、式 (3) において、 i に対する和は、最大でも 20 程度とれば十分である。

次に、記録ストラテジを変化させて上述の過程を実施し、パルス応答の時系列データならびにそのときの ε の最小値を求める。同様に、順次、記録ストラテジを変化させて求められる ε の最小値のうちで最も小さな値を持つ記録ストラテジが、最適な記録ストラテジである。 ε の値が小さいということは、記録データと再生波形データとの線型性が高いということであり、マークエッジ記録で想定している再生波形に近い再生波形が得られるということを意味する。理想的には ε の値を 0 とすることが望ましいが、再生波形にはディスクノイズやレーザノイズ、回路ノイズ等、ノイズの影響があるので、実際には ε の値を完全に 0 とすることは難しく、記録ストラテジを変化させた中で最も ε の値を小さくすることができた記録ストラテジが最適な記録ストラテジということになる。

記録ストラテジ最適化の指標としては、 ε に換えて、前記式 (4) 及び (5) :

$$R1 = (n+1) \times \frac{\sum_i h_i^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2} \quad (4)$$

$$R2 = \frac{\sum_k y_k^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2} \quad (5)$$

並びに、以下の式 (6) 及び (7) :

$$I1 = 10 \times \log R1 \quad (6)$$

$$I2 = 10 \times \log R2 \quad (7)$$

で定義される R1、R2、I1 又は I2 が用いられてもよい。

式 (4)、(5) から明らかなように、指標 R (R1、R2) は、指標 ε を再生波形から得られる情報を用いて規格化して、その逆数をとったものである。指標 I (I1、I2) は、指標 R (R1、R2) の対数表示である。記録ストラテジの最適化は、記録パルス波形のパルス幅やパルス間隔を調整して行われるが、これらの量を多少変更しても、再生波形の時系列データ y_k の二乗の総和は大きくは変化しない。つまり、 y_k の絶対値が大きくなるのは長マークや長スペースに対してであり、ストラテジの調整が主に必要なのは短マークや短スペースに対してである。このため、 ε を最小化する代りに、R あるいは I を最大化しても結果に影響を与えることはない。これは、 ε の単位が信号振幅の二乗であり、再生回路のゲインや再生パワー等により変化する量であるのに対して、R および I は、それら再生回路のゲインや再生パワー等に依存しない無次元量であるという利点を与える。

一方、情報の記録に用いるレーザパワーの調整を行う場合を考えると、記録パワーの変化とともに、信号の振幅も変化するので、何らかの形で線型性からのずれを規格化する必要が生じる。すなわち、記録パワーが小さい場合には、

ε の絶対値が小さく、かつ、信号振幅自体が非常に小さい条件が存在する可能性が考えられるが、その場合は、ε を最小とするレーザパワーが必ずしも最適なパワーと一致しない可能性が考えられる。本発明者は、レーザパワー調整のための ε を規格化した指標として、上述の R 1 又は R 2 (或いは、I1 又は I2) を用いれば良いことを見出した。R 1 は規格化の信号振幅として、パルス応答のエネルギーに評価したビット数をかけた値を用いており、R 2 は規格化の信号振幅として再生波形のエネルギーの総和を用いている。

R 1 あるいは R 2 いずれの指標を用いてレーザパワーを調整しても良い。R 2 で用いられている再生波形のエネルギーは、ノイズ成分や非線型成分をそのまま含んでいるため、有色性のノイズが極端に高い場合や、再生波形の非線形性が顕著な場合には、レーザパワー調整を行うことが困難であると考えられる。このため、信号のエネルギーとして線型な成分のみを用いている R 1 の方がより好適である。なお、R 1 に代えて下記式 (8) :

$$R\ 3 = (n+1) \times \frac{h_{i_max}^2}{\sum_k (y_k - \sum_l a_{k-l} \times h_l)^2} \quad \text{--- (8)}$$

の R 3 を用いることも可能である。R 3 はパルス応答のエネルギーを振幅の自乗で代表させた値となっている。式 (8) において h_{i_max} はパルス応答の振幅を表している。記録条件調整の指標としては、R 3 の値そのままでも良いし、I 1、I 2 と同様に R 3 の対数を取った値 I 3 を用いても良い。

レーザパワーの調整を行う場合には、同一の記録データを繰り返し記録して平均化操作を行う必要は必ずしも無い。これは、例えば、相変化光ディスクのオーバーライト時のレーザパワー調整において、レーザパワーが最適パワーからずれた場合には、ノイズよりもオーバーライト前に存在していた前データの消し残り成分の方が支配的となるため、ノイズ成分を抑圧しなくても波形の線型性評価を行うことが可能となるからである。

(実施例 1)

図 5 は、本実施の形態の実施例 1 において用いた光ディスクの断面図である。図 5 に示すように、本実施例において用いた光ディスクでは、プラスチック基板 10 上に、反射膜 11、保護膜 12、記録膜 13、保護層 14 および光透過層 15 が、この順に積層されている。記録膜 13 は、相変化型記録媒体で形成されている。プラスチック基板 10 にはポリカーボネートが用いられ、その案内溝ピッチは $0.32\text{ }\mu\text{m}$ である。また、本実施例の光ヘッドのレーザ波長は 400 nm 、その NA 値は 0.85 である。

図 6 は、実施例 1 における記録ストラテジ最適化を説明するための記録信号と記録パルスの波形図の一部を示す。図 7 は、図 6 の記録パルス波形の先頭パルス幅—指標 I 2 の関係を示す特性図である。図 8 は、図 6 の記録パルス波形の繰り返し回数（平均化回数）—指標 I 2 の関係を示す特性図である。図 9 は、図 6 の記録パルス波形の先頭パルス幅—指標 I 2 の関係、及び、先頭パルス幅— ϵ の関係を示す特性図である。図 10 は、図 6 の記録パルス波形の先頭パルス幅—ビット誤り率の関係を示す特性図である。

線速 5.5 m/s でディスク回転を行いながら、クロック周波数 90 MHz で光ディスク上に記録を行った。光ヘッドからのレーザ光が、光ディスクの光透過層側から入射され、案内溝間の平坦部に記録マークが形成された。記録パワーは 4 mW 、消去パワーは 1.5 mW である。光ディスク上の光ビームの直径は、 $0.4\text{ }\mu\text{m}$ である。また、マークエッジ記録に適合するように、上述の 200 ビットの長さの M 系列疑似ランダムデータを $1-7\text{ RLL}$ (Run Length Limited) 変換し、NRZI (NonReturn-to-Zero-Inverted) 変調符号化を行って、記録データを生成した。この場合、ディスク上には、再生時間換算で 2 T ～ 8 T の長さの 7 種類の記録マーク（以後、それぞれ、「 2 T の記録マーク」、 \dots 、「 8 T の記録マーク」という）が形成され、最短記録マークの長さは 0.1

2 μ mとなる。Tはクロック周期であり、本実施例においては $T = 11.11$ nsである。再生波形の取り込みは、10 ns 毎に行った。

b.e.r.の測定は、各ストラテジに毎に長さ 10^6 ビットの長さのM系列疑似ランダムデータを記録再生して行った。

5 図6は、記録ストラテジを説明するために、3 Tのパルス幅の記録データとそれに対応する記録パルス波形とを示している。以下において、3 Tのパルス幅の記録データに対応する記録パルス波形を、3 T信号という。他の長さの記録信号に対応する記録パルス波形においても、同様である。図6に示すように、記録パルス波形は、消去パワーレベルの区間 T_{st} の後に、パルス幅 T_{top}
10 で記録パワーレベルの先頭パルスと、パルス幅 T_{smp} でバイアスパワーレベルの低レベルパルスとパルス幅 T_{mp} で記録パワーレベルの高レベルパルスとよりなるマルチパルス部と、パルス幅 T_{cl} のクーリング部と、を持つパルス信号である。クーリング部には、通常、0.1~0.5 mW程度のレーザパワーが存在するが、完全にレーザパワーを零にしても得られる結果にほとんど変化はない。区間 T_{st} 、パルス幅 T_{top} 、 T_{smp} 、 T_{mp} 、 T_{cl} が、記
15 録ストラテジを最適化するための記録補償パラメータとして用いられ得る。

これらの記録補償パラメータの調整のなかで、高密度記録条件下で特に必要となるのは、2 T信号および3 T信号の記録補償パラメータの調整である。4 T信号~8 T信号の記録補償パラメータは各信号毎に調整する必要は必ずしも
20 なく、例えば4 T信号を最適化すれば、他の信号は、マルチパルス部のパルス数を増減することによって最適化することが可能である。

以下に、3 T信号を例として、その先頭パルスのパルス幅 T_{top} を変化させて記録ストラテジを最適化するステップを述べる。表1に本実施例において用いた各パラメータを示す。本実施例においては、3 T信号の先頭パルス開始
25 前期間 T_{st} と先頭パルスのパルス幅 T_{top} のみを変化させ、2 T、4~8

T信号の記録補償パラメータは固定とした。表1で、マルチパルス部のパルス幅 T_{smp} の低レベルパルスとパルス幅 T_{mp} の高レベルパルスとで形成される対の数が、4 T信号において2対、5 T信号において3対というように、3 T信号から8 T信号にかけて1対ずつ増加される。

表 1

	T_{st}	T_{top}	T_{smp}	T_{mp}	T_{cl}
2T	1.65T	0.35T			0.3T
3T	$2T - T_{top}$	$0.3T - 0.5T$	0.5T	0.5T	0.4T
4T - 8T	0.5T	0.5T	0.5T	0.5T	0.4T

まず、上述のように生成された記録データを、図2に示すような形状の記録パルス波形に変換し、その記録パルス波形の8回の繰り返しパターンを光ディスクに記録し、記録ストラテジ最適化に必要な平均操作回数を調べた。その際、記録パルス波形の繰り返し毎に、各記録パルス波形の先頭に10 Tの基準マークが記録され、この10 Tの基準マークから再生される再生波形を起点として、再生波形の時系列データが取り込まれた。これは、データ取り込みの位置精度を高めるためである。なお、起点となるべき基準マークあるいはスペースは10 Tの長さに限る必要はなく、記録データに用いられないパターンで、かつ、安定に検出できる長さ（光ビームの直径以上が望ましい）を有していればよい。

図7は、3 T信号の先頭パルスのパルス幅 T_{top} を0.3 Tから0.5 Tまで変化させたときの指標 I 2 をプロットしたものである。図7において、4本の曲線は、それぞれ、8個の繰り返し記録パルス波形のうちの1個、2個、3個、8個を平均化した場合のものである。図7に示すように、平均化個数：1（平均化操作なし）及び平均化個数が2の平均化操作では、ノイズの影響で指標 I 2 の値が小さく、かつ、記録ストラテジ最適化のための記録補償パラメータである先頭パルスのパルス幅 T_{top} の変化に対する指標 I 2 の変化が明確でない。したがって、平均化個数が2以下の平均化操作では、最適な記録ス

トラテジを決定することが困難である。平均化個数が3以上の平均化操作では、指標 I 2 の値が大きく、かつ、先頭パルスのパルス幅 T_{top} の変化に対する指標 I 2 の変化も明確である。

また、平均化個数が3以上の平均化操作では、指標 I 2 の値が、平均化個数
5 にほとんど依存しない。図8は、先頭パルスのパルス幅 T_{top} が $0.4T$ である $3T$ 信号の平均化個数に対して、指標 I 2 をプロットしたものである。図8に示すように、平均化個数が2以下の平均化操作では、指標 I 2 の値が変化するが、平均化個数が3以上の平均化操作では、指標 I 2 の値がほぼ一定になる。したがって、平均化個数が3以上の平均化操作によって、ノイズによる影
10 響がほとんど完全に除去される。

図9は、 $3T$ 信号の先頭パルスのパルス幅 T_{top} を $0.3T$ から $0.5T$ まで変化させたときの指標 I 2 と指標 ε とをプロットしたものである。指標 I 2 と指標 ε との値は、記録パルス波形の3回の繰り返しパターンの平均化操作から得られた値である。図9に示すように、先頭パルスのパルス幅 T_{top} が
15 同一の $0.4T$ のとき、指標 I 2 が最大になり、指標 ε が最小となる。これは、指標 ε に代えて指標 I 2 を用いることが妥当であることを示している。

図10は、 $3T$ 信号の先頭パルスのパルス幅 T_{top} を $0.3T$ から $0.5T$ まで変化させたときのビット誤り率 $b.e.r.$ をプロットしたものである。ビット誤り率の値は、記録パルス波形の3回の繰り返しパターンの平均化操作から得られた値である。図10に示すように、ビット誤り率は、先頭パルスの
20 パルス幅 T_{top} が $0.4T$ のとき最小になる。この先頭パルスのパルス幅 $0.4T$ は、図7の指標 I 2 が最大となる先頭パルスのパルス幅 $0.4T$ と等しい。

(実施例2)

25 図11は、本発明の実施例2における記録ストラテジ最適化を説明するため

の記録パルス波形のクーリング部のパルス幅—指標 I 2 の関係、及びパルス幅—ビット誤り率の関係を示す特性図である。

線速 5.5 m/s でディスク回転を行いながら、クロック周波数 70 MHz で光ディスク上に記録を行った。記録パワーは 4 mW、消去パワーは 1.5 mW である。光ディスク上の光ビームの直径は、0.4 μ m である。ストラテジ調整、b. e. r. 測定に用いた記録データとしては、実施例 1 と同じ記録データで、クロック周波数のみ変化させた。この場合、ディスク上には、実施例 1 と同様に、2 T ~ 8 T の記録マークが形成されるが、最短記録マークの長さは 0.16 μ m となる。クロック周期 T は、 $T = 14.29$ ns である。再生再生波形のサンプリングは、10 ns 毎に行った。

本実施例においては、調整される記録補償パラメータとして、2 T 信号のクーリング部のパルス幅 T c 1 が選択された。表 2 に本実施例において用いた各パラメータを示す。本実施例においては、2 T 信号のパルス幅 T c 1 のみを 0.2 ~ 0.4 T と変化させ、3 ~ 8 T 信号の記録補償パラメータは固定とした。表 2 において、マルチパルス部のパルス対の数が、3 T 信号において 1 対であり、3 T 信号から 8 T 信号にかけて 1 対ずつ増加されている。

表 1

	Tst	Ttop	Tsmp	Tmp	Tc1
2T	1.65T	0.35T			0.2T - 0.4T
3T	1.6T	0.4T	0.5 T	0.5T	0.4T
4T - 8T	1.5T	0.5T	0.5T	0.5T	0.4T

記録パルス波形の繰り返し回数を 3 回とし、3 個の繰り返しパターンの平均値として、指標 I 2 およびビット誤り率 b. e. r. が算出された。図 11 は、このようにして得られた指標 I 2 およびビット誤り率を、2 T 信号のクーリング部のパルス幅 T c 1 に対してプロットしたものである。図 11 に示すように、2 T 信号のクーリング部のパルス幅 T c 1 としては、0.3 T が最適である。

なお、実施例 1 及び実施例 2 について代表的に規格化した線型性の指標として I 2 についてデータを示したが、I 1 あるいは I 3 についても I 2 と同様のストラテジ依存を有しており、I 1 あるいは I 3 を用いてもストラテジの最適化が可能であることが確認できた。

5

(実施例 3)

厚さ 0.6 mm のプラスチック基板の上に、保護膜、記録膜、保護膜、反射膜が順に積層され、反射膜上に紫外線硬化樹脂層が形成された相変化光ディスクを用いてレーザパワーと I 1、I 2、I 3 の関係を調べた。記録膜は、相変化型記録媒体で形成されている。プラスチック基板にはポリカーボネートが用いられ、その案内溝ピッチは 0.42 μm である。また、光ヘッドのレーザ波長は 405 nm、その NA 値は 0.65 である。

線速 5.2 m/s でディスク回転を行いながら、クロック周波数 60 MHz で光ディスク上に記録を行った。記録パワーと消去パワーの比を 2.4 とし、レーザパワーを変化させながら記録を行った。光ディスク上の光ビームの直径は、0.52 μm である。記録データとしては、レーザパワー調整に用いたデータは実施例 1 と同じ長さ 200 ビットのランダムデータ、b. e. r. 測定に用いた記録データも実施例 1 と同じ 106 長さの記録データで、クロック周波数のみ変化させた。この場合、ディスク上には、実施例 1 と同様に、2 T ~ 8 T の記録マークが形成されるが、最短記録マークの長さは 0.17 μm となる。クロック周期 T は、 $T = 16.66 \text{ ns}$ である。再生再生波形の取り込みは、15 ns 毎に行った。

同一のレーザパワーで 10 回オーバーライトを行う行程をそれぞれのレーザパワーに対して行い、それぞれの条件に対して、b. e. r. 及び R 1、R 2、R 3 を求めた。図 12 にその結果を示す。本実施例では、平均化操作は行わな

25

かった。なお、本実施例では平均化操作を行っても R_1 , R_2 , R_3 の値はほとんど改善されなかった。これは、波形の線型性が白色ノイズではなく、オーバーライト動作時に存在していた前データの消し残り成分が波形の線型性を支配しているためと考えられる。

5 図 1 2 におけるレーザパワーは、規格化して示してあり、1 に相当するレーザパワーは、記録パワー 6mW、消去パワー 2.5mW である。同様に 1.2 に相当するレーザパワーは、記録パワー 7.2mW、消去パワー 3mW である。図 1 2 から、b. e. r. が最良となるレーザパワーと R_1 , R_2 , R_3 が最大となる（図 1 2 ではそれぞれの対数 I_1 , I_2 , I_3 が表示されている）レーザパワーが一致しており、
10 レーザパワーを変化させながら R_1 , R_2 , R_3 の値を調べることでレーザパワーの調整が可能であることが分かる。

また、上述の相変化光ディスクを用いて、同一のレーザパワーによるオーバーライト回数を変化させて測定を行い、オーバーライト回数を変化させた場合のレーザパワーと R_1 , R_2 , R_3 の関係を調べた。その結果の代表例として I_1
15 (R_1) を図 1 3 に示す。本測定でも平均化操作は行わなかった。

図 1 3 から分かるように、オーバーライト回数 1 回（初回の記録）では、 I_1 (R_1) の最大値を見つけることが難しく、レーザパワーの最適化を行うことが困難であることが分かる。これは、初回の記録ではオーバーライトに特有の、前に記録したデータの影響を全く受けないためと考えられる。すなわち、消去
20 パワーが適切でない場合には前に記録したデータの消し残りが信号の歪み成分として現れるので、波形の線型性が大きく変化するが、初回の記録では前のデータの消し残り成分は全くないということである。なお、図には示さなかったが R_2 , R_3 についても同様の結果が得られた。従って、相変化光ディスクについて、 R_1 , R_2 , R_3 の値を調べてレーザパワーの最適化を行うためには、
25 少なくとも 2 回以上オーバーライトを行う必要がある。

(実施例 4)

厚さ 0.6 mm のプラスチック基板上に、保護膜、記録膜、保護膜、反射膜が順に積層され、反射膜上に紫外線硬化樹脂層が形成された相変化光ディスクを用いてレーザパワーと I 1、I 2、I 3 の関係を調べた。記録膜は、相変化型記録媒体で形成されている。記録膜の膜厚を 30 nm と厚くし、かつ、反射膜の厚さを 10 nm と薄くして、放熱性を低くし、記録時のエッジシフト（非線形成分）が大きくなるディスク構成とした。プラスチック基板にはポリカーボネートを用い、案内溝ピッチは 0.42 μ m とした。また、光ヘッドのレーザ波長は 405 nm、その NA 値は 0.65 とした。

線速 5.2 m/s でディスク回転を行いながら、クロック周波数 60 MHz で光ディスク上に記録を行った。記録パワーと消去パワーの比を 2.4 とし、レーザパワーを変化させながら記録を行った。光ディスク上の光ビームの直径は、0.52 μ m である。記録データとしては、実施例 3 と同じ記録データで、クロック周波数のみ変化させた。この場合、ディスク上には、2 T ~ 8 T の記録マークが形成されるが、最短記録マークの長さは 0.17 μ m となる。クロック周期 T は、 $T = 16.66$ ns である。再生再生波形の取り込みは、15 ns 毎に行った。

同一のレーザパワーで 10 回オーバーライトを行う行程をそれぞれのレーザパワーに対して行い、それぞれの条件に対して、b. e. r. 及び R 1、R 2、R 3 を求めた。図 15 にその結果を示す。本実施例では、平均化操作は行わなかった。

図 14 から分かるように、R 2、R 3 が最大となるレーザパワーと b. e. r. が最小となるレーザパワーは一致していることが分かるが、R 1 に対しては、R 1 が最大となるレーザパワーと b. e. r. が最小となるレーザパワー

は一致していない。これは、レーザパワーが高い時には記録時のエッジシフトが大きくなるが、R 1ではエッジシフトを含んだ信号成分で線型性の指標を規格化しているためと考えられる。従って、レーザパワーの最適化には、R 2あるいはR 3を用いる方がより好適である。

5

(実施例 5)

実施例 3 で得られた再生波形に対して、パルス応答の長さを $5 \sim 20$ ($T : T$ はチャネルクロック) の間で変化させて I_1 , I_2 , I_3 の値を求め、パルス
10 応答の長さ I_1 , I_2 , I_3 の関係を調べた。その結果を図 15 に示す。なお、図 15 に示したデータは実施例 3 においてレーザパワー 1 に対して得られた再生波形データに対して求めたものである。図 15 から分かるように、 I_1 , I_2 , I_3 がほぼ飽和した値となるのはパルス応答の長さを $15T$ 以上とした場合であり、長さが短い場合には、値がばらついてしまい、正しく線型性の評価を行うことができない。

15

(実施例 6) 実施例 3 で記録したデータを線速 5.3 m/s で再生し、補間
するためのクロック時間を変化させながら I_1 , I_2 , I_3 のデータを計算した。実施例 3 に記述した通り、記録は線速 5.2 m/s においてクロック時間
20 16.66 ns の条件で行われたので、線速 5.3 m/s で再生した場合には、正しいクロック時間は 16.35 ns となる。再生波形を補間するためのクロック時間を 15 ns から 18 ns まで 0.05 ns 毎に変化させて I_1 , I_2 , I_3 を計算したところ、クロック時間を 16.35 ns と想定した場合に I_1 , I_2 , I_3 が最大値を取ることが確認できた。従って、何らかの外乱で光ディスクの回転数が変動し、記録を行った時点と再生を行った時点で回転数が異なる
25 事態が生じたとしても、複数のクロック時間を想定して、それぞれ想定した

クロック時間毎に波形データを補間することで、再生時の正しいクロック時間を算出するとともに波形の線型性の評価を行うことができる。

(実施例 7)

5 図 16、図 17 は、本発明の実施例 2 における記録ストラテジ最適化により得られる最短ビット長—指標 I 1 及び指標 I 2 特性図である。

実施例 1 で用いた相変化光ディスクについて波長 405 nm、NA=0.85 及び NA=0.75 の光ヘッドを用いて、線速 5.5 m/s でディスク回転を行いながら、クロック周波数を変化させて、光ディスク上に記録される最短記録マーク長を変化させて記録を行って、レーザパワーと b. e. r. の関係を調べた。同様に、実施例 3 で用いた相変化光ディスクについて波長 405 nm、NA=0.65 及び NA=0.6 の光ヘッドを用いて、線速 5.5 m/s でディスク回転を行いながら、クロック周波数を変化させて、光ディスク上に記録される最短記録マーク長を変化させて記録を行って、レーザパワーと b. e. r. の関係を調べた。ビーム径は NA=0.6, 0.65, 0.75, 0.85 の場合にそれぞれ、0.6, 0.52, 0.46, 0.4mm であった。

レーザパワーを変化させる際には、記録パワーと消去パワーの比を一定として、レーザパワーを変化させながらそれぞれのレーザパワーで 10 回オーバーライトを行った後、I 1, I 2 及び b. e. r. の測定を行った。記録データとしては、I 1, I 2 の測定には実施例 1 と同じ長さ 200 ビットのデータを、b. e. r. の測定にも実施例 1 と同じ長さ 10^6 ビットのデータを用いた。クロック周波数を変化させることで最短マーク長を変化させた。

図 16、図 17 に、各最短記録マーク長 L において、ビット誤り率が 1×10^{-4} となる指標 I 1 及び I 2 の値がプロットされている。ここでビット誤り率として 1×10^{-4} を基準としたのは、一般的にリードソロモンなどの誤り訂正

を用いて誤り訂正が可能（装置が支障無く動作する）な上限の誤り率が 1×10^{-4} であるからである。指標 I (I_1 , I_2) は、図中、ほぼ一直線上にあり、その直線を境にして紙面上方の領域が、 1×10^{-4} 以下のビット誤り率を与える指標 I の領域である。即ち、 $I_1 \geq 20 - aL$ 、 $I_2 \geq 21 - aL$ の条件が満足されたときに、ビット誤り率が 1×10^{-4} 以下となっている。また、 a の値がビーム径が大きくなるにつれて小さくなっていることが分かる。そこで、 a の値とビーム径の関係を調べたところ、 a はビーム径に反比例しており、図 16、図 17 の直線はそれぞれ、 $I_1 = 20 - 20 (L/w)$ 、 $I_2 = 21 - 20 (L/w)$ で近似できることが確認された。即ち、 $I_1 = 20 - 20 (L/w)$ 、 $I_2 = 21 - 20 (L/w)$ の条件が満足されたときに、ビット誤り率が 1×10^{-4} 以下となる。したがって、この条件を満足するようにレーザパワーを調整すれば、ビット誤り率が 1×10^{-4} 以下となる。

上記実施形態例に係る光学情報の記録方法および記録装置では、記録データに記録ストラテジ処理を施した記録パルス信号を光記録媒体上に記録再生して得られた再生波形と、記録データとパルス応答とを畳み込み演算した波形との差が最小になるようにパルス応答を定めることによって記録条件を最適化する際に、再生波形をクロック周期より短い周期でサンプリングを行って記録条件の最適化を行うので、回路構成を煩雑とすることなく短時間に記録ストラテジの最適化を行うことが可能である。

また、PLL によるクロック周期の抽出を行わないので、レーザパワーが最適パワーからずれて PLL 回路が正常に動作しない場合であっても、再生波形の線型性を評価することが可能である。

また、同一の記録パルス波形を光記録媒体の同一トラックに 3 回以上記録し、再生された再生波形を平均化した再生波形を用いるものであるもので、高記録密度の場合であっても、ノイズの影響を受けることなく、精度良く記録ストラテ

ジの最適化を行うことが可能である。

また、記録パルス信号を光記録媒体上に記録再生して得られた再生波形と、記録データとパルス応答とを畳み込み演算した波形との差が最小になるようにパルス応答を定めることによってレーザパワーを最適化する際に、前記再生波形と記録データとパルス応答とを畳み込み演算した波形との差を再生波形から得られる情報を元に規格化しているので、波形の線型性が高く、かつ、信号振幅ができるだけ大きくなるレーザパワーを精度良く決定することが可能である。

以上、本発明をその好適な実施の形態に基づいて説明したが、本発明の光学情報の記録方法および記録装置は、上述した実施の形態のみに制限されるものではなく、本願発明の要旨を変更しない範囲で種々の変化を施した光学情報の記録方法および記録装置も、本発明の範囲に含まれる。例えば、記録媒体としては、相変化光ディスクに限られることなく、光磁気ディスクや追記型ディスク等の記録再生のできる光記録媒体であればいずれでも用いられ得る。また、記録データ生成時に用いた1-7変換は、1-7変換に限らず、2-7変換等のRLL符号化を行う変換であればいずれでもよい。

請求の範囲

1. クロック周期に同期した記録信号を基礎として生成された記録パルス波
 形のレーザ光を光記録媒体に照射して該光記録媒体に記録マーク群を形成する
 ステップと、該記録マーク群を読み出して再生波形を得るステップと、該再生
 波形をクロック周期より短い周期でサンプリングして該再生波形の線型性を評
 価することによって記録条件を調整するステップとを有することを特徴とする
 光学情報の記録条件調整方法。

2. 前記調整ステップでは、サンプリングされた再生波形のサンプル値を線
 型補間することによって、クロック周期毎の再生波形の時系列データを導出す
 ることを特徴とする請求項1に記載の光学情報の記録条件調整方法。

3. 前記光記録媒体に記録するクロック周期毎の時系列データを $[a_0, a_1, \dots, a_k, \dots, a_{n-1}, a_n]$ 、前記再生波形のクロック周期毎の時系列データを
 $[y_0, y_1, \dots, y_k, \dots, y_{n-1}, y_n]$ (n は0以上の整数、 k は $0 \leq k \leq n$ を満たす整数)、ある記録再生条件に対する記録再生系のパルス応答を $[h_0, h_1, \dots, h_m]$ (m は $0 \leq m \leq n$ を満たす整数) として、前記線型性の指標として下記式

$$\varepsilon = \sum_i (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2$$

(i は $0 \leq i \leq m$ を満たす整数) を求めることによって記録条件を調整すること
 を特徴とする請求項1または2に記載の光学情報の記録条件調整方法。

4. クロック周期に同期した記録信号を基礎として生成された記録パルス波

形のレーザ光を光記録媒体に照射して該光記録媒体に記録マーク群を形成するステップと、該記録マーク群を読み出して再生波形を得るステップと、該再生波形の線型性を評価して記録条件を調整するステップとを有する光学情報の記録条件調整方法において、

- 5 前記調整ステップでは、前記光記録媒体に記録するクロック周期毎の時系列データを $[a_0, a_1, \dots, a_k, \dots, a_{n-1}, a_n]$ 、前記再生波形のクロック周期毎の時系列データを $[y_0, y_1, \dots, y_k, \dots, y_{n-1}, y_n]$ (n は0以上の整数、 k は $0 \leq k \leq n$ を満たす整数)、ある記録再生条件に対する記録再生系のパルス応答を $[h_0, h_1, \dots, h_m]$ (m は $0 \leq m \leq n$ を満たす整数) として、
- 10 前記線型性の指標として下記式

$$R1 = (n+1) \times \frac{\sum_i h_i^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2}$$

(i は $0 \leq i \leq m$ を満たす整数)を求めることを特徴とする記録条件調整方法。

5. クロック周期に同期した記録信号を基礎として生成された記録パルス波
- 15 形のレーザ光を光記録媒体に照射して該光記録媒体に記録マーク群を形成するステップと、該記録マーク群を読み出すことによって再生波形を得るステップと、該再生波形の線型性を評価して記録条件を調整するステップとを有する光学情報の記録条件調整方法において、

- 20 前記調整ステップでは、前記光記録媒体に記録するクロック周期毎の時系列データを $[a_0, a_1, \dots, a_k, \dots, a_{n-1}, a_n]$ 、前記再生波形のクロック周期毎の時系列データを $[y_0, y_1, \dots, y_k, \dots, y_{n-1}, y_n]$ (n は0以上の整数、 k は $0 \leq k \leq n$ を満たす整数)、ある記録再生条件に対する記録再生系のパルス応答を $[h_0, h_1, \dots, h_m]$ (m は $0 \leq m \leq n$ を満たす整数) として、

前記線型性の指標として下記式

$$R^2 = \frac{\sum_k y_k^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2}$$

(i は $0 \leq i \leq m$ を満たす整数) を求め再生波形の線型性を評価する記録条件の調整方法。

5

6. 前記調整ステップは、前記再生波形をクロック周期より短い周期でサンプリングするステップと、該サンプリングされた再生波形のサンプル値を線型補間することによって、クロック周期毎の再生波形の時系列データを導出するステップとを有することを特徴とする請求項 4 または 5 記載の記録条件調整方法。

10

7. 前記光記録媒体が相変化型光記録媒体であり、前記レーザ光を該相変化型光記録媒体に照射して該相変化型光記録媒体に記録マーク群を形成するに際し、2 回以上オーバーライトした後、前記再生波形を得ることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の光学情報の記録条件調整方法。

15

8. 前記光記録媒体に、同じ形状の記録パルス波形で複数個の記録マーク群を記録し、該記録マーク群を再生して複数個の再生波形をサンプリングし、サンプリングされた再生波形のサンプル値を平均化することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の光学情報の記録条件調整方法。

20

9. 前記光記録媒体に、特定の波形を有する単一の記録パルスで記録マーク群を記録し、該記録マーク群を複数回再生することで複数個の再生波形をサン

プリングし、該サンプリングされた再生波形のサンプル値を平均化することを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の光学情報の記録条件調整方法。

10. 前記複数個の記録マーク群が、前記光記録媒体の同一トラックに形成されることを特徴とする請求項 8 に記載の光学情報の記録条件調整方法。

11. 前記複数個の再生波形が、3 個以上の再生波形であることを特徴とする請求項 8 乃至 10 のいずれかに記載の光学情報の記録条件調整方法。

12. 情報の記録再生に用いるレーザビームのビーム直径を w 、光学情報記録媒体に記録される最短のマーク長を l とした場合、 $10 \times \log R1 > 20 - 20(l/w)$ dB を満足するように、 $R1$ を調整することを特徴とする請求項 4 に記載の光学情報の記録条件調整方法。

13. 情報の記録再生に用いるレーザビームのビーム直径を w 、光学情報記録媒体に記録される最短のマーク長を l とした場合、 $10 \times \log R2 > 21 - 20(l/w)$ dB を満足するように、 $R2$ を調整することを特徴とする請求項 5 に記載の光学情報の記録条件調整方法。

14. 前記 h_i の値が、最小二乗法を用いて決定されることを特徴とする請求項 3, 4, 5, 6, 12, 又は 13 のいずれかに記載の光学情報の記録再生方法。

15. データの基準クロックを T として、前記 h_i が 0 でない値となる長さが $1.5T$ 以上であることを特徴とする請求項 14 に記載の光学情報の記録再生方

法。

16. 光学情報記録媒体に記録されるデータを1および0を用いて表したとき、前記記録信号の前に、再生波形のサンプリングの基準タイミングとして、
5 データ‘1’もしくはデータ‘0’にある期間が前記記録信号とは異なる長さの基準データが付加されていることを特徴とする請求項1乃至15のいずれかに記載の光学情報の記録再生方法。

17. 光記録媒体にレーザ光を照射しその反射光を受光する光ヘッドと、
10 前記レーザの出力光強度を変化させるレーザ駆動部と、
クロック周期に同期した記録信号を記録パルス波形に変換しこれを前記レーザ駆動部に伝達する機能と、光記録媒体に記録された記録マークの再生波形をクロック周期よりも短い周期でサンプリングする機能と、該サンプリングした値を補間する機能と、再生波形から定められるパルス応答と前記記録信号との
15 畳み込みで求められる波形と、前記再生波形をサンプリングし補間して得られた波形との差を評価して記録パルス波形の幅あるいはパワーを調整する機能とを備えた制御部と
を有する光学情報の記録再生装置。

18. 前記制御部における評価が、前記光記録媒体に記録するクロック周期毎の時系列データを $[a_0, a_1, \dots, a_k, \dots, a_{n-1}, a_n]$ 、前記再生波形のクロック周期毎の時系列データを $[y_0, y_1, \dots, y_k, \dots, y_{n-1}, y_n]$
(n は0以上の整数、 k は $0 \leq k \leq n$ を満たす整数)、ある記録再生条件に対する記録再生系のパルス応答を $[h_0, h_1, \dots, h_m]$ (m は $0 \leq m \leq n$ を満たす整
25 数)とした場合、下記式：

$$\varepsilon = \sum_i (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2 ;$$

$$R1 = (n+1) \times \frac{\sum_i h_i^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2} ; \text{及び}$$

$$R2 = \frac{\sum_k y_k^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2}$$

(i は $0 \leq i \leq m$ を満たす整数) の少なくとも 1 つを定義し、得られた値を評価することで記録条件を調整するものであることを特徴とする請求項 17 記載の記録再生装置。

19. 前記光記録媒体が相変化型光記録媒体であり、前記レーザ光を該相変化型光記録媒体に照射して該相変化型光記録媒体に記録マーク群を形成するに際し、2 回以上オーバーライトした後、前記再生波形を得ることを特徴とする請求項 17 または 18 記載の記録再生装置。

20. 前記再生波形を入手する機能には、同じ波形を有する複数の記録パルスにより記録された複数の記録マーク群を再生して得られる複数の再生波形を平均化する機能、あるいは、ある記録パルス波形により記録されたマーク群を複数回再生して得られた複数の再生波形を平均化する機能が含まれていることを特徴とする請求項 15 または請求項 16 に記載の光学情報の記録再生装置。

21. 請求項 18 記載の記録再生装置において、前記制御部が、前記式：

$$R1 = (n+1) \times \frac{\sum_i h_i^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2};$$

を定義することで記録条件を調整するものであり、

前記制御部は、前記レーザ光のビーム直径を w 、前記記録マーク群の中で最も短い記録マークの長さを 1 としたとき、 $10 \times \log R1 > 20 - 20(1/w)$ dB の条件を

5 満足するように、記録もしくは消去のレーザパワーを決定する機能を更に有すること特徴とする光学情報の記録再生装置。

22. 請求項 18 記載の記録再生装置において、前記制御部が、前記式：

$$R2 = \frac{\sum_k y_k^2}{\sum_k (y_k - \sum_i a_{k-i} \times h_i)^2}$$

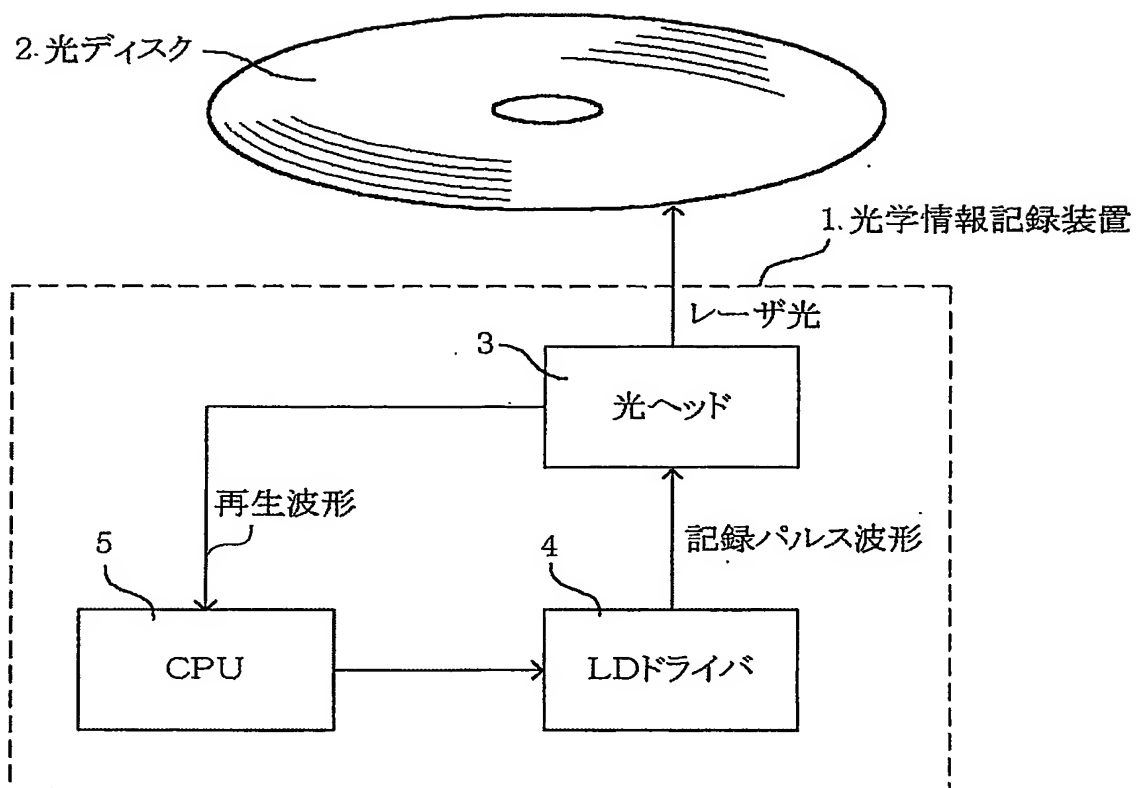
10 を定義することで記録条件を調整するものであり、

前記制御部は、前記レーザ光のビーム直径を w 、前記記録マーク群の中で最も短い記録マークの長さを 1 としたとき、 $10 \times \log R2 > 21 - 20(1/w)$ dB の条件を満足するように、記録もしくは消去のレーザパワーを決定する機能を更に有すること特徴とする光学情報の記録再生装置

15 23. 請求項 1 乃至 16 のいずれかに記載の光学情報の記録条件調整方法を採用する記録再生装置。

1 / 1 2

図 1



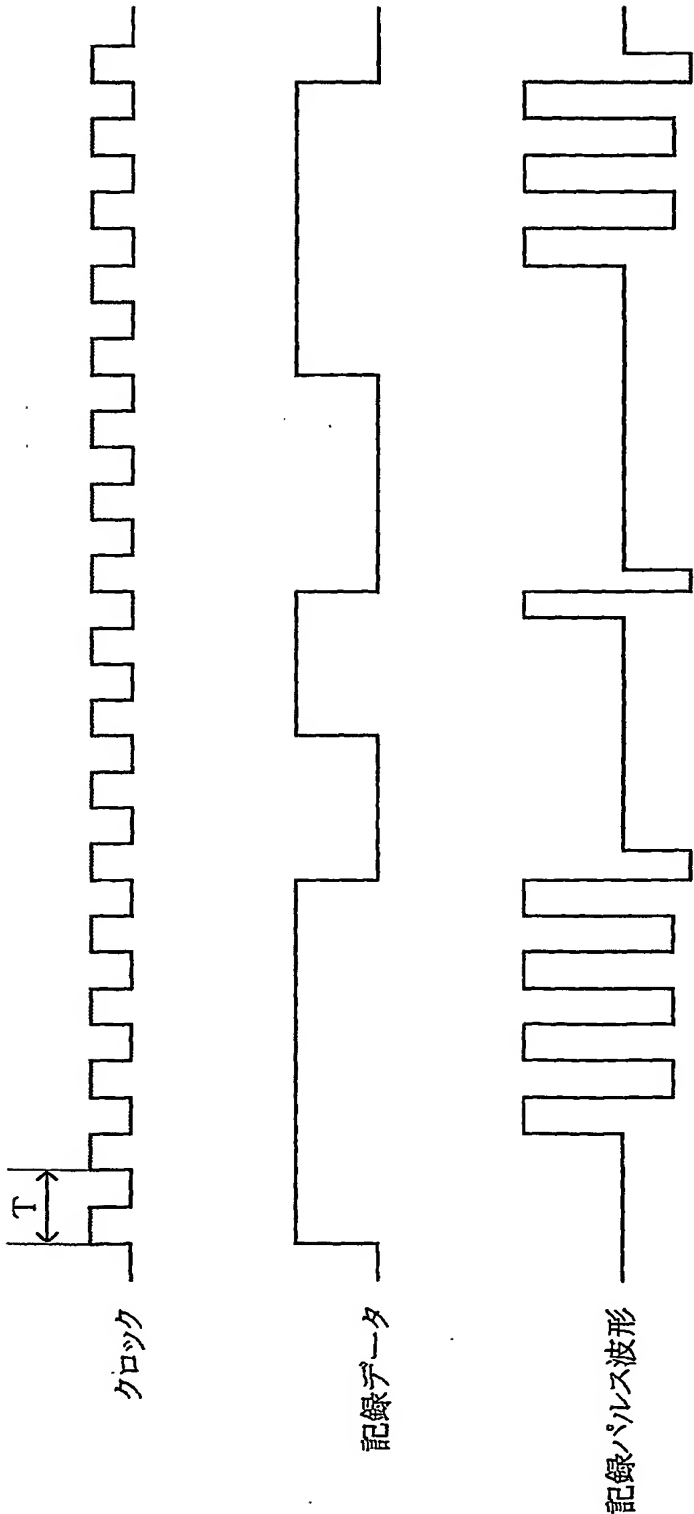


図 2

3 / 1 2

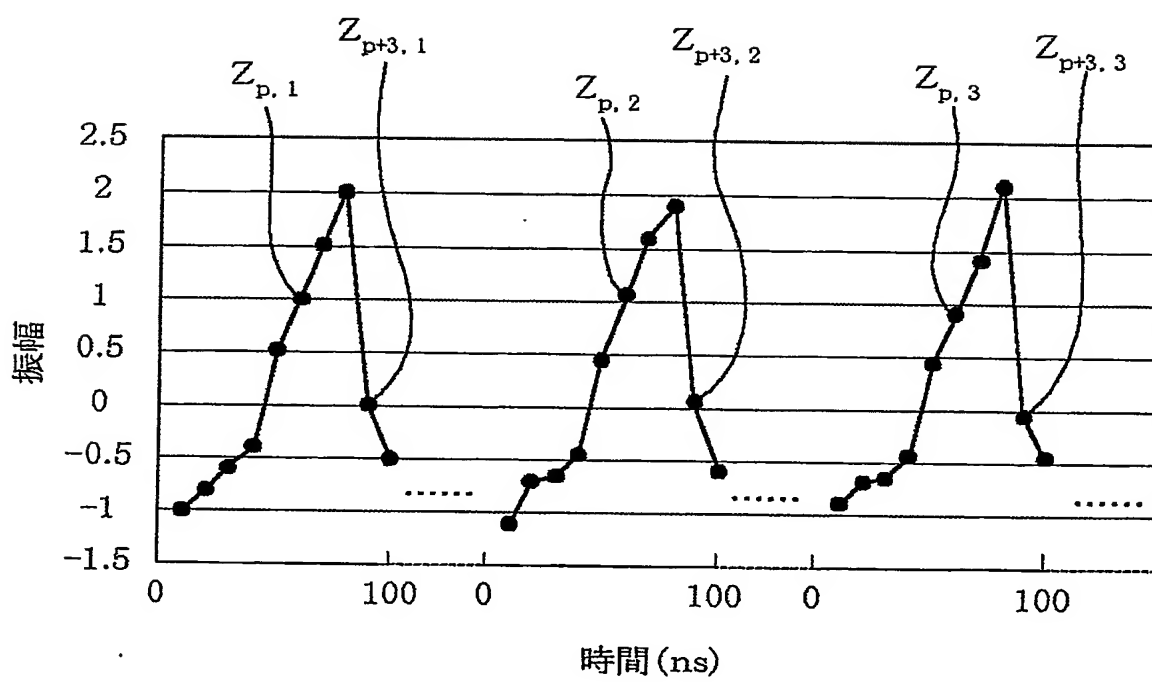


図 3

4 / 1 2

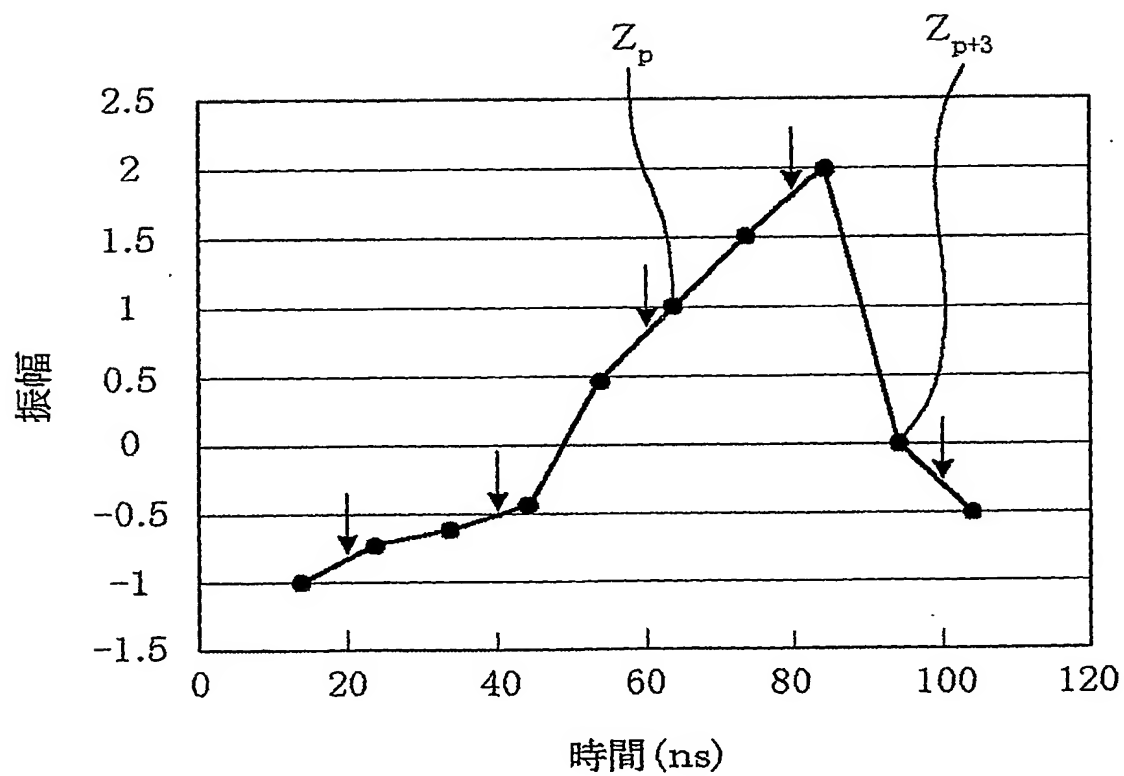
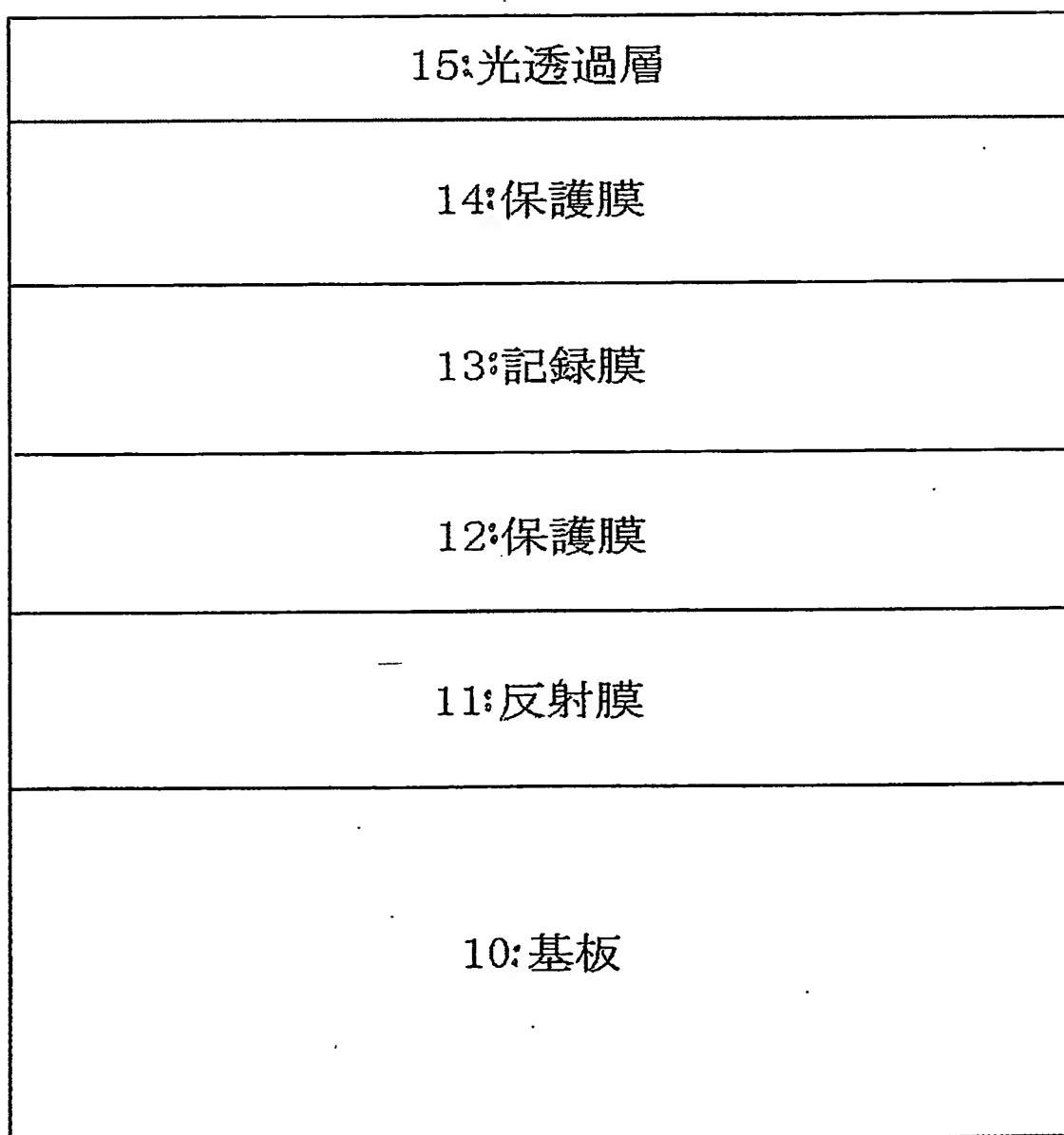


図 4

5 / 12

図 5

レーザー光



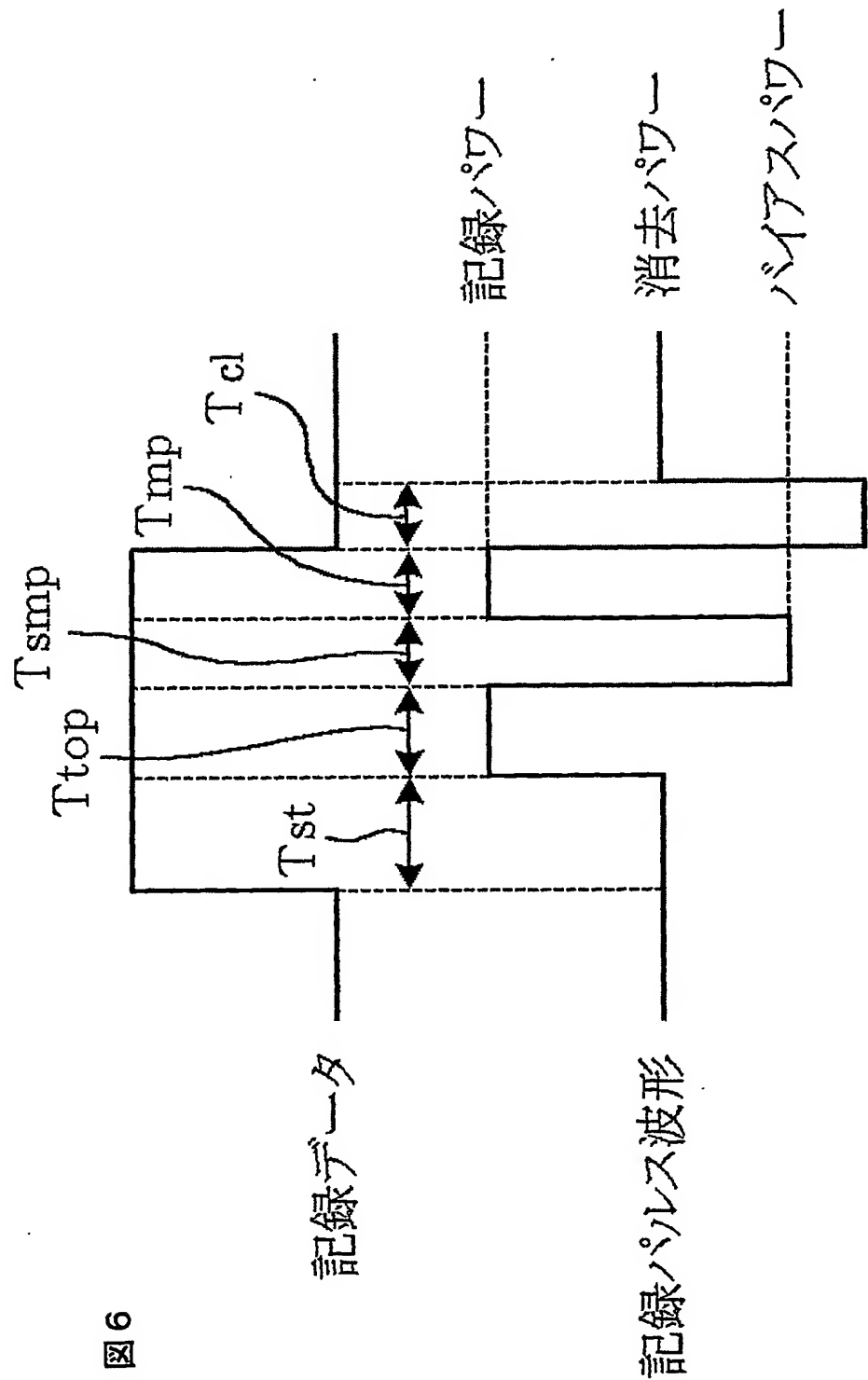


図6

7 / 12

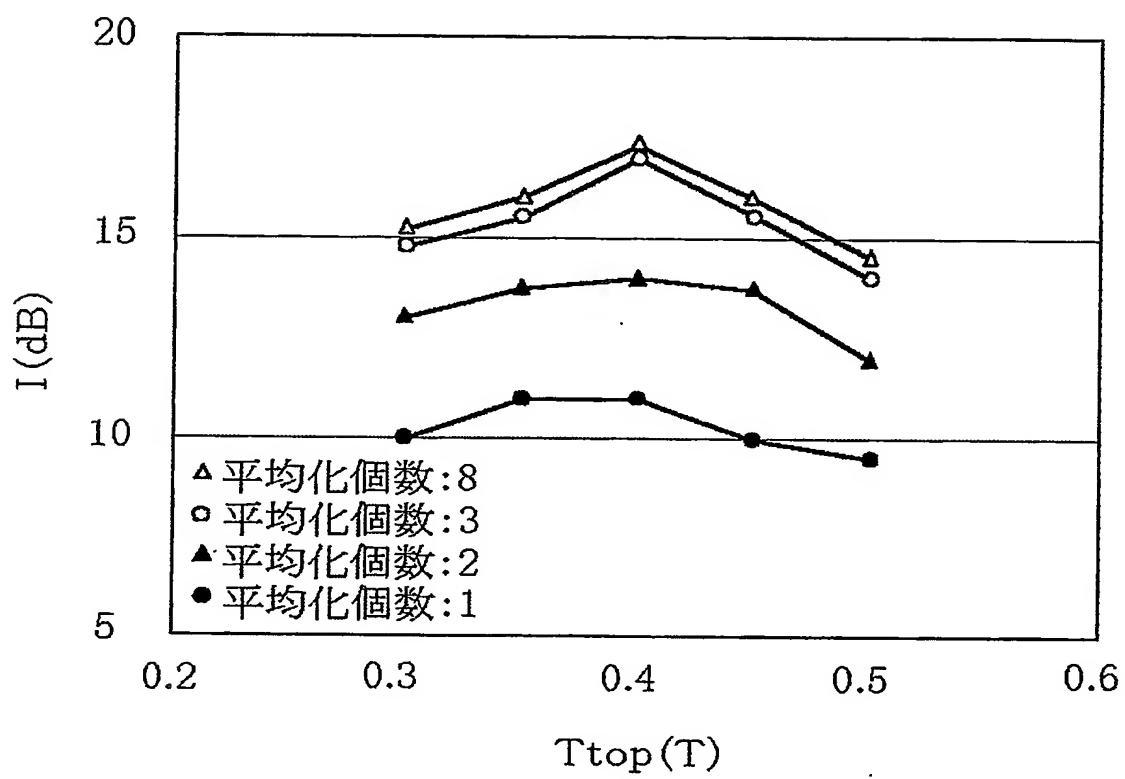


图 7

8 / 12

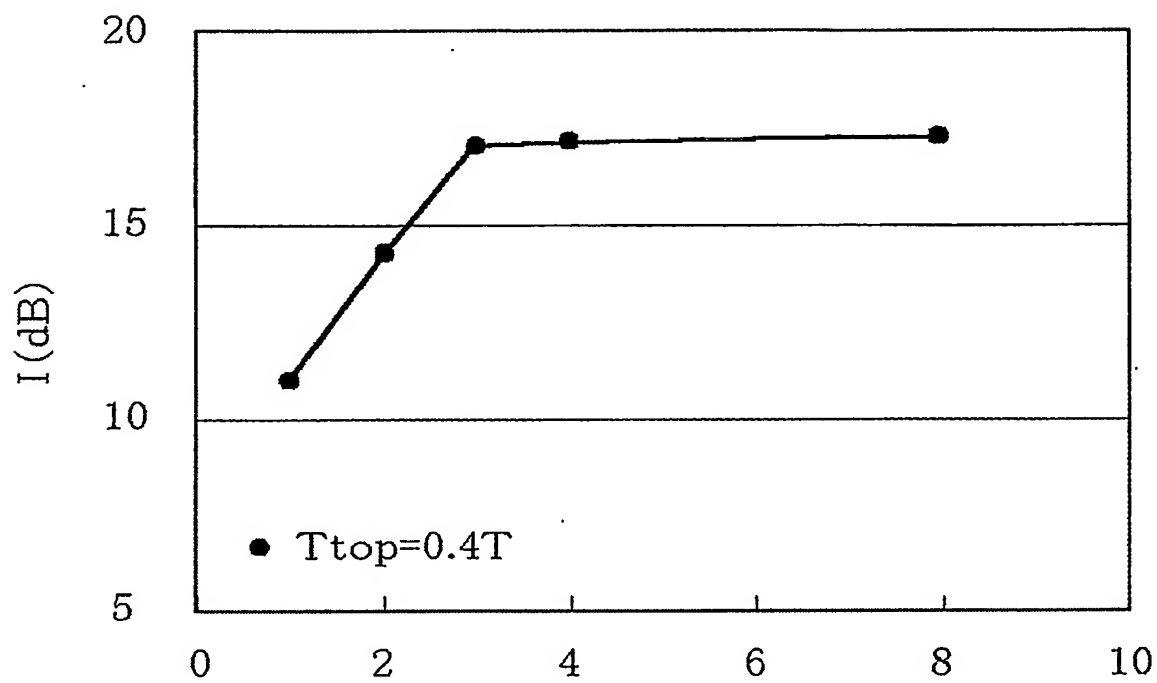


図 8

平均化個数

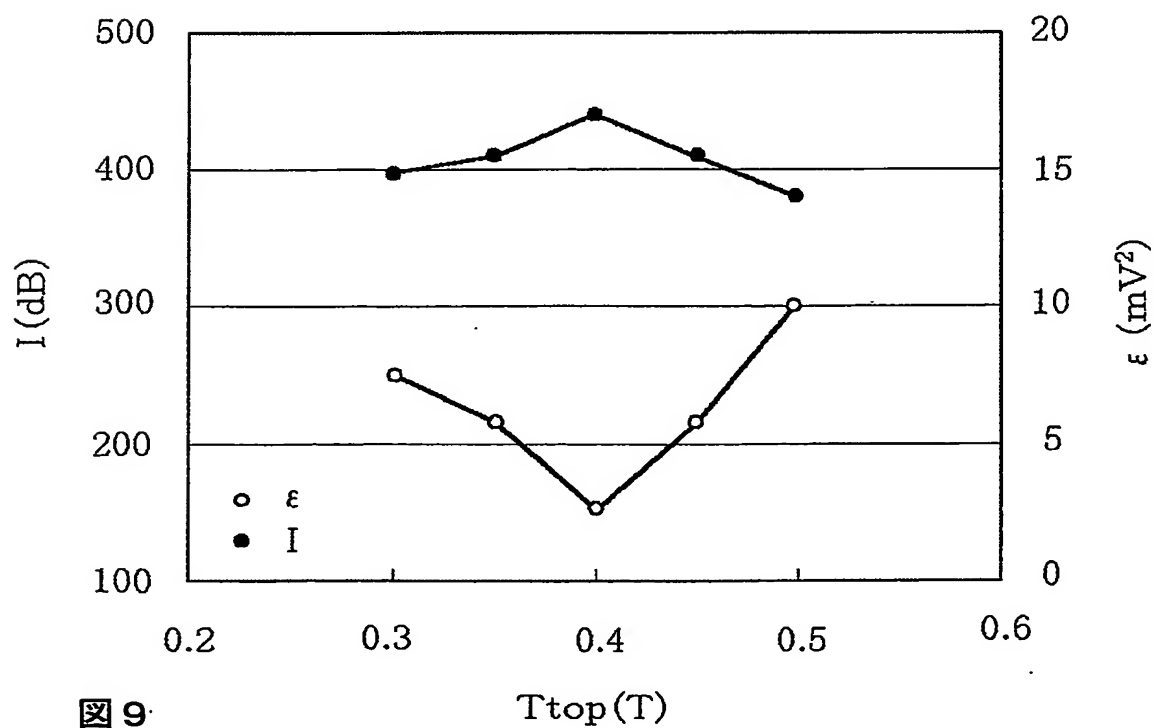


図 9

 $T_{top}(T)$

9 / 12

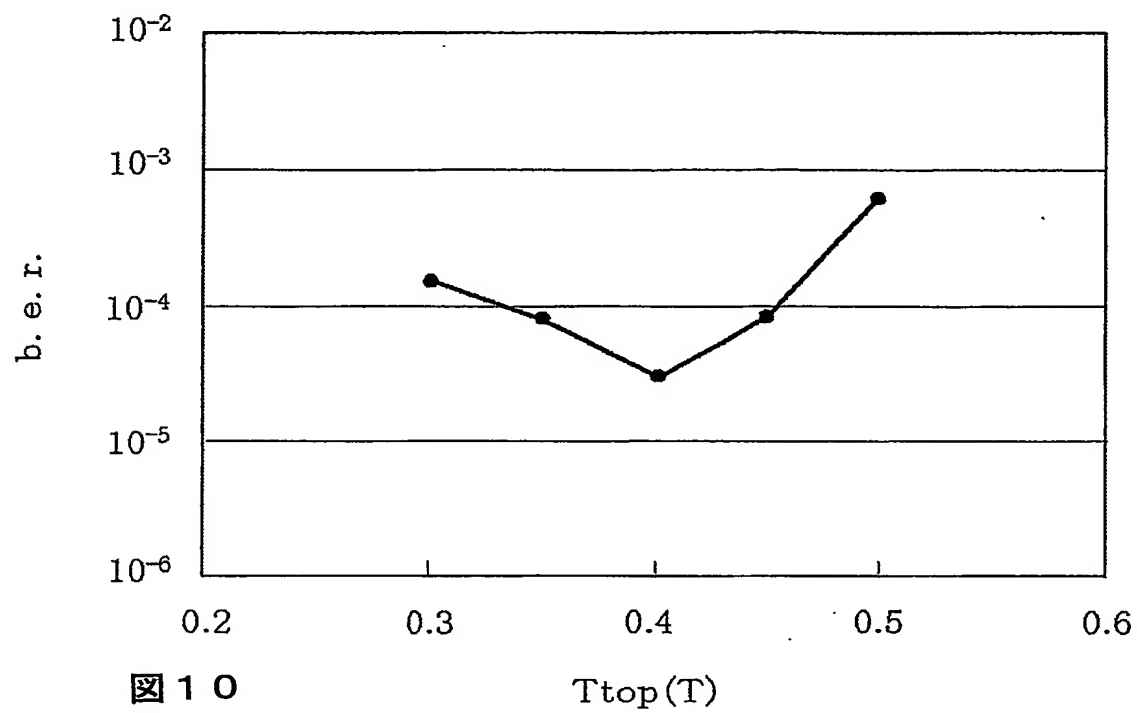


図 10

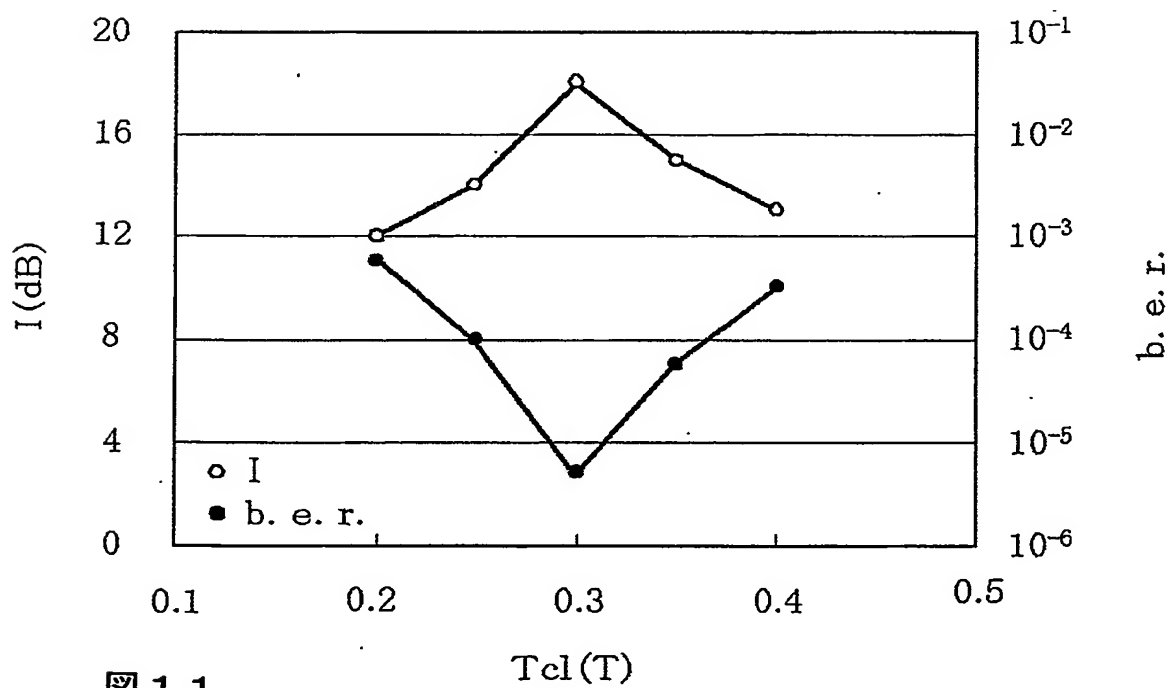


図 11

10/12

図 1 2

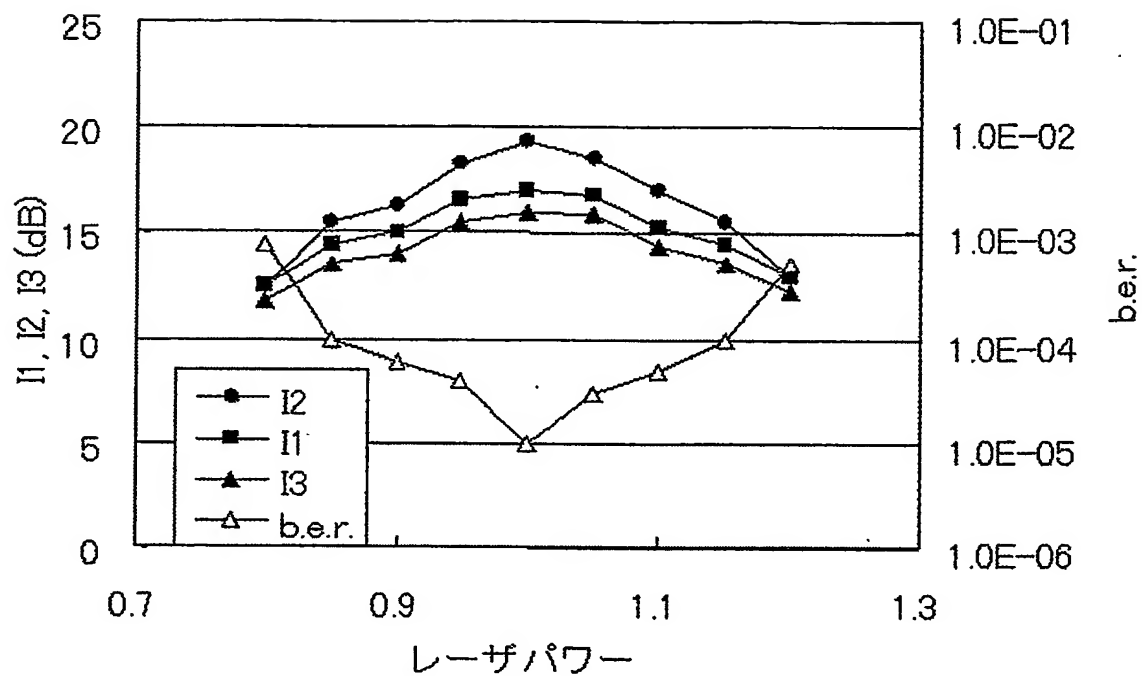
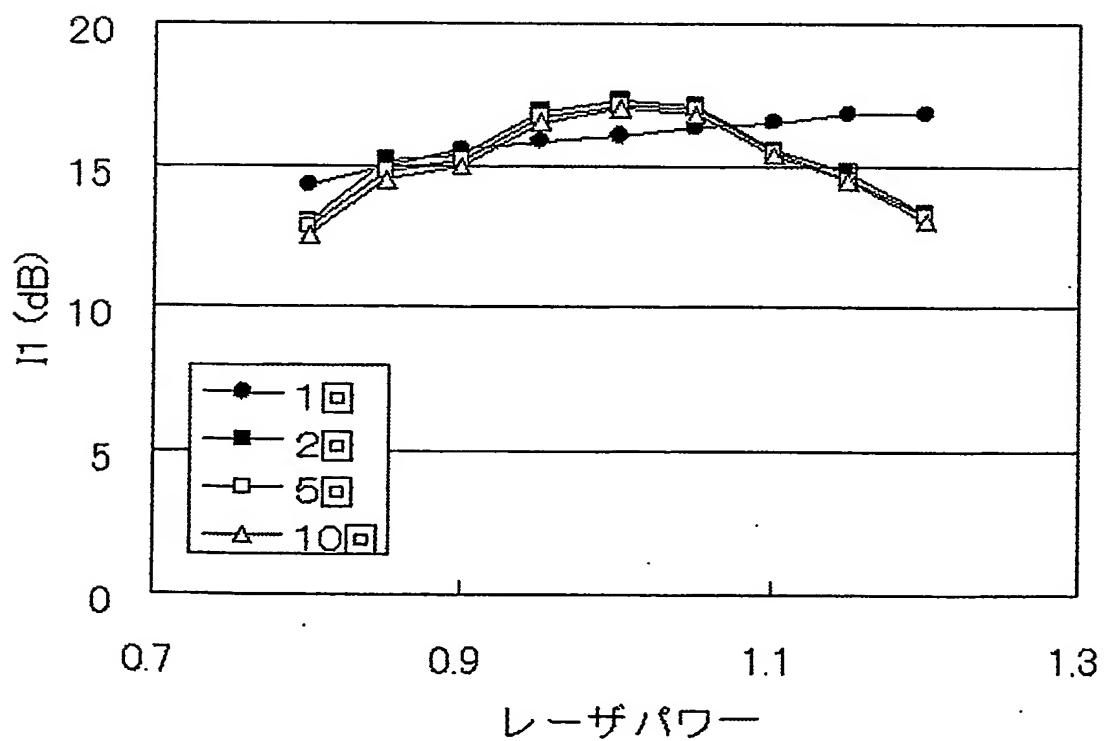


図 1 3



11 / 12

図 1 4

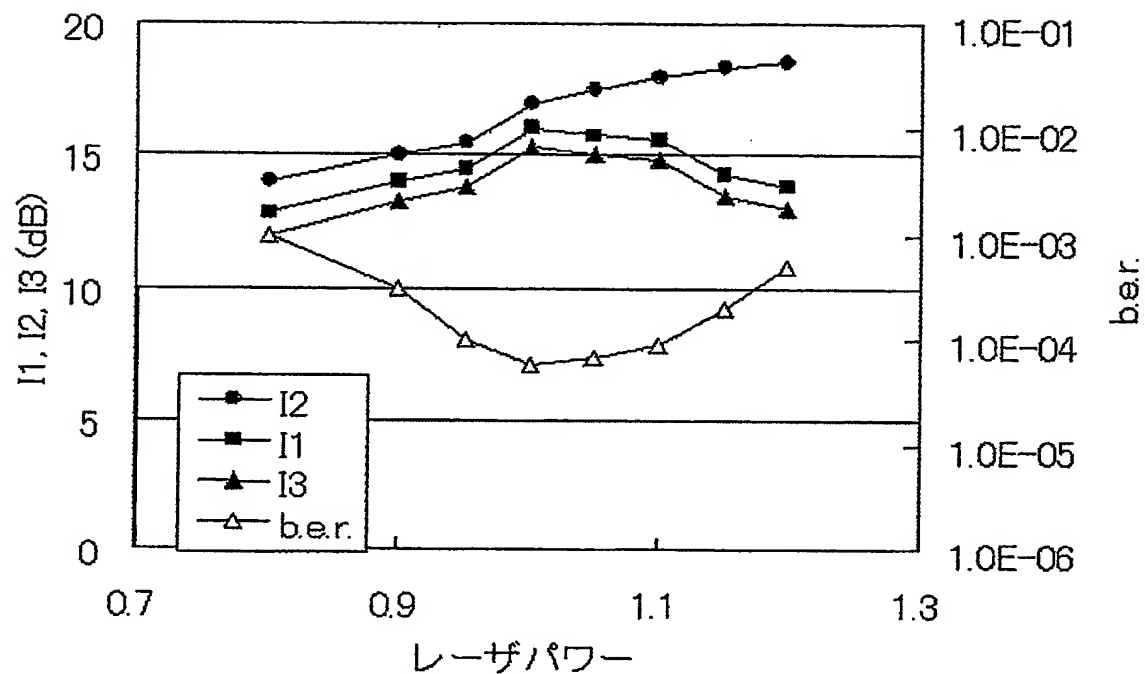
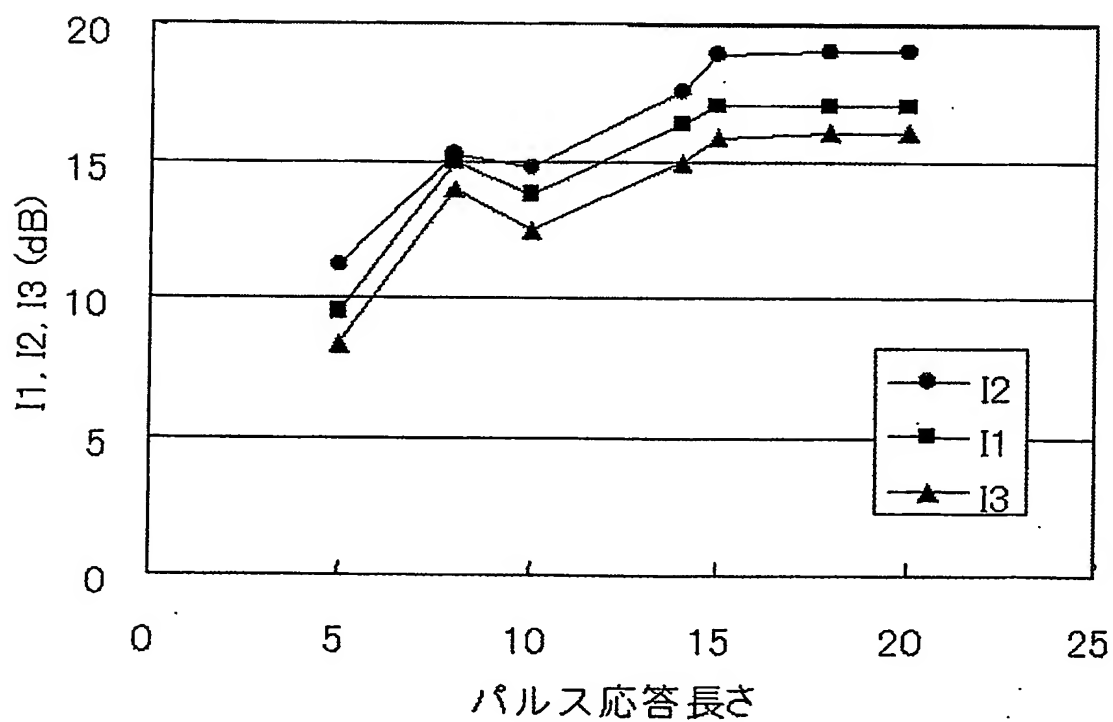


図 1 5



12 / 12

図 16

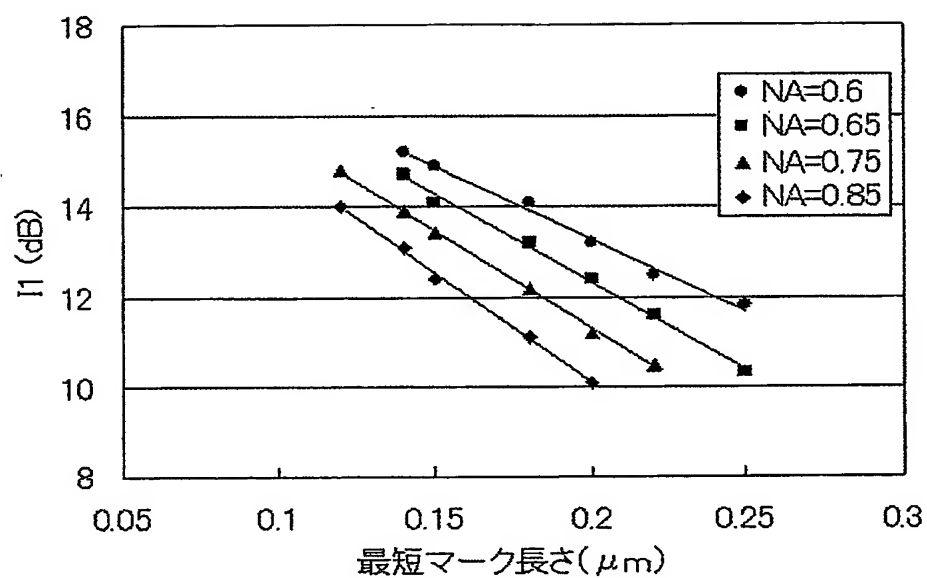
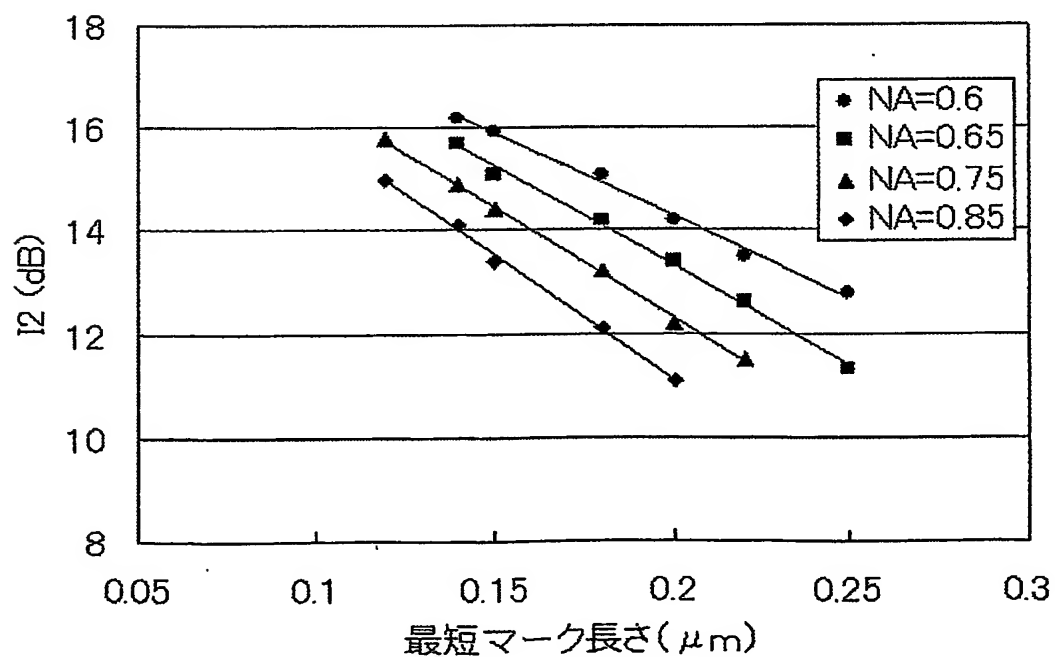


図 17



12/1/12

符号の説明

図3 $Z_{p,1}$, $Z_{p,2}$, $Z_{p,3}$, $Z_{p+3,1}$, $Z_{p+3,2}$, $Z_{p+3,3}$: 再生波形の時系列データ

図4 Z_p , Z_{p+3} : 平均化された再生波形の時系列データ

図6 T_{st} : 先頭パルス始端開始期間

T_{top} , T_{smp} , T_{mp} , T_{sl} : パルス幅

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

JP/JP03/01193

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G11B7/0045, G11B7/125

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G11B7/0045, G11B7/125, G11B7/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2001-126260 A (NEC Corp.), 11 May, 2001 (11.05.01), Par. Nos. [0012] to [0016] (Family: none)	4-5 1-3, 6-11, 14-20, 23
Y	JP 11-126433 A (Sharp Corp.), 11 May, 1999 (11.05.99), Par. Nos. [0027] to [0028]; Fig. 5 (Family: none)	1-3, 6-11, 14-20, 23
Y	JP 9-63056 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 07 March, 1997 (07.03.97), Par. No. [0026] & US 5841747 A & US 6031803 A & JP 9-282696 A & JP 9-305973 A	7, 19

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
06 May, 2003 (06.05.03)Date of mailing of the international search report
20 May, 2003 (20.05.03)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

P/JP03/01193

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2002-25060 A (Sharp Corp.), 25 January, 2002 (25.01.02), Par. Nos. [0093] to [0094], [0103] to [0104]; Fig. 2 (Family: none)	8-11, 16, 20

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl. G11B7/0045 G11B7/125

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl. G11B7/0045 G11B7/125 G11B7/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996
日本国公開実用新案公報 1971-2003
日本国実用新案登録公報 1996-2003
日本国登録実用新案公報 1994-2003

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2001-126260 A (日本電気株式会社)	4-5
Y	2001.05.11, 段落0012-0016 (ファミリーなし)	1-3, 6-11, 14-20, 23

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
06.05.03

国際調査報告の発送日
20.05.03

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
岩井 健二



5D 9465

電話番号 03-3581-1101 内線 3549

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 11-126433 A (シャープ株式会社) 1999. 05. 11, 段落0027-0028, 第5図 (ファミリーなし)	1-3, 6-11, 14-20, 23
Y	JP 9-63056 A (松下電器産業株式会社) 1997. 03. 07, 段落0026 & US 5841747 A & US 6031803 A & JP 9-282696 A & JP 9-305973 A	7, 19
Y	JP 2002-25060 A (シャープ株式会社) 2002. 01. 25, 段落0093-0094, 段落0103-0104, 第2図 (ファミリーなし)	8-11, 16, 20